

SÉBASTIEN BOUCHARD

**EFFETS DU POIDS D'ABATTAGE, DE LA VITESSE DE CROISSANCE ET DES SEXES SUR LES
CARACTÉRISTIQUES MUSCULAIRES ET LES RELATIONS AVEC LA QUALITÉ DE LA VIANDE**

Mémoire présenté
à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval
dans le cadre du programme de maîtrise en sciences animales
pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.)

DÉPARTEMENT DES SCIENCES ANIMALES
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION
UNIVERSITÉ LAVAL
QUÉBEC

2008

RÉSUMÉ

L'objectif du projet était d'évaluer l'effet du poids d'abattage (PA), de la vitesse de croissance (VC) et des sexes sur la qualité du *longissimus dorsi* du porc et d'en établir la relation avec certains aspects du métabolisme musculaire. Les caractéristiques histologiques du *psaos major* ont également été comparées avec celles du *longissimus dorsi* pour ces traitements. Pour réaliser l'étude, 118 porcs commerciaux du Québec ont été regroupés selon deux VC, rapide (Indice de potentiel génétique moyens des pères de -7 jours) et lente (Indice de potentiel génétique moyens des pères de + 2 jours), trois PA (107 kg, 115 kg, 125 kg) et deux sexes (castrats et femelles). Les mesures de qualité physico-chimiques, d'activités enzymatiques énergétiques (citrate synthase et lactate déshydrogénase) et protéolytique (calpaïnes), ainsi que le profil histochimique et immunohistochimique du muscle ont été effectuées. Le PA et la VC n'ont pas influencé les principales mesures de qualité telles que la couleur, le pH du muscle, 48 heures après l'abattage, les forces de cisaillement, l'indice de fragmentation myofibrillaire, la solubilité des protéines et la teneur en myoglobine. Les femelles ont montré des pertes en eau plus élevées et un pH_u plus faible que les castrats. Par contre, une VC plus rapide a entraîné une augmentation du pourcentage de fibres de type I ainsi qu'une diminution de la taille de ces mêmes fibres. L'augmentation du poids d'abattage a favorisé l'activité de la citrate synthase et de la lactate déshydrogénase. Les femelles ont présenté un potentiel glycolytique plus élevé, une valeur de pH_u inférieure et une plus grande perte en eau que les castrats. Malgré certains effets observés sur l'activité métabolique et les caractéristiques histochimiques du muscle, les effets des traitements sur la qualité de la viande sont très limités. Des différences ont été observées entre les effets des traitements sur les caractéristiques histologiques du *psaos major* et celle du *longissimus dorsi*. Les résultats suggèrent l'implication de la croissance longitudinale des fibres comme facteur pouvant expliquer ces différences.

AVANT-PROPOS

Suite à ce travail, je tiens à remercier en un premier temps mon directeur de recherche, le Dr Jean-Paul Laforest et mon co-directeur, le Dr Claude Gariépy. Ils ont su me transmettre leurs connaissances. Je tiens également à remercier l'équipe de technicien du laboratoire du département de sciences animales qui m'ont fourni un excellent support technique ainsi que les membres de l'équipe de recherche du Dr Claude Gariépy du Centre de recherche et développement des aliments de St-Hyacinthe qui m'ont aidé à développer de meilleures techniques de laboratoire. Je remercie le Dr François J. Richard de la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation qui a mis à ma disposition son matériel de laboratoire. Je remercie Claude Laberge de Statex qui m'a toujours fourni des explications claires et précises pour ce qui est des différents résultats statistiques qui ont émergé tout au long du travail.

Je remercie les organismes qui ont appuyé ce projet, soit Agriculture et Agroalimentaire Canada, le Centre de développement du porc du Québec, la Fédération des producteurs de porcs du Québec, le Fond québécois d'adaptation des entreprises agroalimentaires, le Conseil pour le développement de l'Agriculture du Québec, le Conseil canadien des viandes et le ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin, merci!

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	III
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTÉRATURE	2
1.1 Anatomie et typologie des fibres musculaires chez le porc	2
1.2 Métabolisme musculaire et critères de la qualité de la viande chez le porc	3
1.2.1 Évolution du pH <i>post mortem</i>	4
1.2.2 Qualité organoleptique	6
1.2.2.1 Couleur.....	6
1.2.2.2 Tendreté.....	6
1.2.2.3 Flaveur et jutosité.....	10
1.2.3 Qualité technologique.....	10
1.3 Effet du poids d'abattage, de la vitesse de croissance et du sexe sur les caractéristiques musculaires en relation avec la qualité de la viande	11
1.3.1 Effet du poids d'abattage.....	11
1.3.2 Effet de la vitesse de croissance	13
1.3.3 Effet du sexe.....	16
1.4 Hypothèses de recherche	18
CHAPITRE 2 : EFFET DE LA VITESSE DE CROISSANCE, DU POIDS D'ABATTAGE ET DES SEXES SUR LA QUALITÉ ET LES PROPRIÉTÉS MÉTABOLIQUES DE LA VIANDE DE PORCS	21
2.1 Résumé.....	21
2.2 Introduction	21
2.3 Matériel et méthodes	22
2.3.1 Analyse biochimique de la viande	23
2.3.2 Analyse de la qualité de la viande	25
2.4 Résultats	27
2.5 Discussion.....	30
2.5.1 Effet de l'augmentation du poids d'abattage	30
2.5.1.1 Histochimie	30
2.5.1.2 Analyses biochimiques	30
2.5.1.3 Qualité de la viande	31
2.5.2 Effets vitesse de croissance	34

2.5.2.1	<i>Histochimie</i>	34
2.5.2.2	<i>Enzymes métaboliques</i>	35
2.5.2.3	<i>Qualité</i>	36
2.5.3	Effets sexe	37
2.5.3.1	<i>Histochimie</i>	37
2.5.3.2	<i>Enzymes métaboliques</i>	38
2.5.3.3	<i>Qualité</i>	38
2.6	Conclusion	39
2.7	Liste des ouvrages cités	41
CHAPITRE 3 : COMPARAISON ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES HISTOLOGIQUES DU <i>PSOAS MAJOR</i> ET		
DU <i>LONGISSIMUS DORSI</i>		63
3.1	Résumé.....	63
3.2	Introduction	63
3.3	Matériel et méthodes	64
3.4	Résultat et discussion	66
3.4.1	Effet du poids d'abattage.....	66
3.4.2	Effet de la vitesse de croissance	67
3.4.3	Effet du sexe.....	68
3.5	Conclusion	68
3.6	Liste des ouvrages cités	69
CONCLUSION GÉNÉRALE		74
LISTE DES OUVRAGES CITÉS		76

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Anatomie du muscle squelettique au niveau macroscopique et microscopique	19
Figure 2.1 Effet du poids d'abattage et de la vitesse de croissance sur la surface relative des fibres de types IIa du <i>longissimus dorsi</i>	47
Figure 2.2 Effet du poids d'abattage et de la vitesse de croissance sur le pourcentage des fibres de types IIa du <i>longissimus dorsi</i>	48
Figure 2.3 Effet de la vitesse de croissance et des sexes sur le pourcentage des fibres de types IIb du <i>longissimus dorsi</i>	49
Figure 2.4 Effet du poids d'abattage, de la vitesse de croissance et des sexes sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le <i>longissimus dorsi</i>	50
Figure 2.5 Effet de la vitesse de croissance et des sexes sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le <i>longissimus dorsi</i>	51
Figure 2.6 Effet de la vitesse de croissance et des sexes sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le <i>longissimus dorsi</i>	52
Figure 3.1. Surface relative des fibres musculaires du <i>longissimus dorsi</i> et du <i>psaos major</i> en fonction des poids d'abattages.	70
Figure 3.2. Taille moyenne des fibres musculaires du <i>longissimus dorsi</i> et du <i>psaos major</i> en fonction des poids d'abattages.	71
Figure 3.3. Nombre total de fibres musculaires du <i>longissimus dorsi</i> et du <i>psaos major</i> en fonction des poids d'abattages.	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Nomenclature et caractéristiques des fibres musculaires chez le porc.....	20
Tableau 2.1. Influence de l'accroissement du poids d'abattage, de la vitesse de croissance, du sexe et leurs interactions sur les caractéristiques histochimiques et immunologiques du <i>longissimus dorsi</i>	53
Tableau 2.2. Corrélations entre les caractéristiques histochimiques, le poids de la carcasse et le gain moyen quotidien.	54
Tableau 2.3. Influence de l'augmentation du poids d'abattage, de différentes vitesses de croissance, du sexe et leurs interactions sur les caractéristiques biochimiques du <i>longissimus dorsi</i>	55
Tableau 2.4. Corrélations entre les enzymes métaboliques, CS et LDH, et le gain moyen quotidien, le poids de la carcasse et le potentiel glycolytique.....	56
Tableau 2.5. Corrélations entre le potentiel glycolytique et le poids de la carcasse, le gain moyen quotidien, le pH et les caractéristiques histochimiques des fibres.....	57
Tableau 2.6. Influence de l'accroissement du poids d'abattage, de la vitesse de croissance, du sexe et leurs interactions sur les caractéristiques physico-chimique et sensorielle du <i>longissimus dorsi</i>	58
Tableau 2.7. Corrélations entre les mesures de pH, la couleur, la solubilité de protéines et les pertes en eau et les caractéristiques histochimiques des fibres.....	59
Tableau 2.8. Corrélations entre les caractéristiques histochimiques et immunologique et les valeurs de pH 24 heures et pH 48 heures	60
Tableau 2.9. Corrélations entre l'analyse sensorielle, les forces de cisaillement, l'indice de fragmentation myofibrillaire, les enzymes du système calpaïnes/calpastatine.....	61
Tableau 2.10. Corrélations entre les forces de cisaillement, l'analyse sensorielle de la tendreté et la taille de fibres musculaires, le collagène soluble et le persillage.....	62
Tableau 3.1. Caractéristiques histologiques et volume du <i>longissimus dorsi</i> et du <i>psaos major</i> en fonction des poids d'abattages, des différentes vitesses de croissance et du sexe.....	73

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le commerce et la compétition internationaux influencent les diverses strates économiques. Ces pressions occasionnent des questionnements au sujet des pratiques agricoles en place au Québec. La production porcine, avec ses exportations, doit réagir afin de demeurer compétitive sur les marchés. Les demandes pour des porcs plus lourds ont récemment forcé la filière porcine à envisager l'augmentation du poids d'abattage des porcs. Afin de contre balancer la durée d'engraissement prolongée pour l'atteinte de poids d'abattage plus lourds, l'industrie compte mettre l'emphase sur une sélection pour l'amélioration du gain moyen quotidien. Dans cette optique, il est primordial de bien visualiser le comportement métabolique musculaire pour ne pas engendrer de variations pouvant se répercuter sur la qualité subséquente de la viande.

Ce mémoire est divisé en trois sections distinctes. Dans un premier temps, une brève revue de littérature est présentée traitant de certains concepts de la qualité de la viande et faisant état des différentes études ayant porté sur les critères étudiés, soit l'effet de l'augmentation du poids d'abattage, l'effet de la sélection sur le gain moyen quotidien et l'effet des sexes (femelles et castrats) sur le développement de la qualité de la viande chez le porc. Par la suite, le deuxième chapitre présente les résultats de l'étude sur les effets de l'augmentation du poids d'abattage, de l'augmentation de la vitesse de croissance et des sexes sur le *longissimus dorsi*. Finalement, le troisième chapitre porte sur la comparaison des caractéristiques histologiques du *longissimus dorsi* et celle du *psaos major* soumis à ces traitements.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Anatomie et typologie des fibres musculaires chez le porc

La fibre musculaire ou myofibre est la composante principale du tissu musculaire (Figure 1.1). Cette fibre est une cellule multinucléée ayant la capacité de convertir l'énergie en mouvement (Hocquette et coll., 2000). Le sarcoplasme de la fibre musculaire contient des réserves importantes de glycogène ainsi que de myoglobine, une chromoprotéine (pigment rouge) qui emmagasine de l'oxygène à l'intérieur du muscle. La fibre musculaire comporte plusieurs myofibrilles, les structures contractiles du muscle, dont chacune est composée d'une chaîne d'unités contractiles, les sarcomères. Deux types de myofilaments, les filaments minces et les filaments épais, sont disposés de façon ordonnée à l'intérieur des sarcomères. Les filaments épais sont principalement composés de myosine, tandis que ceux minces, d'actine. La contraction musculaire s'effectue par le biais de ces deux protéines, la myosine et l'actine, qui interagissent au cours de la contraction musculaire. La structure moléculaire de la myosine est associée au type de fibre musculaire qui compose le muscle.

Chez la plupart des espèces animales, incluant le porc, le nombre de fibres musculaires est fixé à la naissance. Les fibres musculaires diffèrent par leurs propriétés morphologiques, biochimiques et physiologiques (Cassens et Cooper, 1971). Les fibres peuvent être classées selon leur caractéristiques métaboliques (métabolisme oxydatif, oxydo-glycolytique ou glycolytique) et contractiles (vitesse de contraction lente ou rapide). Chez un porc, le muscle est composé de quatre différents types de fibres musculaires associés à des isoformes distincts de myosine : I, IIa, IIx et IIb (Lefaucheur et coll., 1998) (Tableau 1.1). Les proportions de fibres de type I, IIa, IIx et IIb varient selon le muscle atteignant respectivement 10, 7, 15 et 68 % dans le muscle *longissimus dorssi* chez un porc de race Large White de 100 kg (Lefaucheur et coll., 2002). L'augmentation de la taille des fibres modifie les proportions des différents types de fibres augmentant celles de type IIb suite à la diminution du nombre de mitochondries et à l'augmentation du métabolisme glycolytique (Lefaucheur et Gerrard, 1998).

Le profil métabolique catégorise les fibres selon le métabolisme utilisé pour la production de l'énergie nécessaire pour subvenir aux besoins comme le mouvement, la croissance et la thermorégulation de l'animal. Il existe deux voies métaboliques principales : oxydative et glycolytique. La voie oxydative requiert de l'oxygène pour la production d'ATP (cycle de Krebs). L'activité enzymatique de certaines enzymes spécifiques dont la *citrate synthase* (CS) donne une indication de l'état du métabolisme oxydatif des fibres musculaires (Hocquette et coll., 1998). Dans la voie glycolytique, l'activité de la *lactate déshydrogénase* (LDH) permet d'évaluer les capacités

métaboliques glycolytiques du muscle. Lors de la glycolyse, l'acide lactique produit engendre une acidification de la viande lors du processus de transformation du muscle en viande, autrement dit, une chute du pH *post mortem*. À la naissance, le métabolisme des fibres est principalement de type oxydatif, mais le métabolisme glycolitique augmente graduellement jusqu'au poids d'abattage (Lefaucheur et Vigneron, 1986 et Lefaucheur, 2003).

Sur une base métabolique, le métabolisme oxydatif est élevé dans les fibres de type I et IIa, intermédiaire dans les fibres de type IIx et faible dans les fibres de type IIb (Lefaucheur et coll., 2002) (Tableau 1). Le métabolisme glycolitique est faible dans les fibres I, intermédiaire dans les fibres IIa et IIx, et élevé dans les fibres IIb. Le métabolisme énergétique des fibres IIa et IIx est de type oxydo-glycolytique. Larzul et coll. (1997) ont montré une corrélation positive entre les fibres de type I et l'activité de la *citrate synthase*, et une corrélation négative avec les fibres de type II. L'activité de la *lactate déshydrogénase* est associée aux fibres glycolytiques, principalement celles de type IIb. Larzul et coll. (1997) ont montré une corrélation positive entre l'activité de la *lactate déshydrogénase* et les fibres de type II, et une corrélation négative avec les fibres de type I.

Pour ce qui est des caractéristiques contractiles, il existe deux catégories de fibres musculaires, soit celles à vitesse de contraction lente (type I) et celles à vitesse de contraction rapide (type IIa, IIx et IIb) (Tableau 1). L'activité de l'ATPase qui varie selon l'isoforme de myosine constituant les myofibrilles dicte les propriétés contractiles des fibres musculaires (Gondret et Bonneau, 1998). L'action de l'ATPase permet l'hydrolyse de l'ATP pour fournir de l'énergie lors de la contraction musculaire (Picard et coll., 2003).

Les propriétés métaboliques de chaque type de fibres musculaires sont reconnues pour influencer le développement de la qualité de la viande. L'activité musculaire de l'animal va dicter le processus métabolique *post mortem* de l'animal. L'ensemble des caractéristiques des fibres a un impact sur la qualité de la viande, qu'il soit question du type, de la taille, du nombre et de l'espace relatif qu'elles occupent. Comme le mentionnent Lefaucheur et Gerrard (1998), le profil typologique des fibres musculaires n'est pas le seul responsable des variations de la qualité de la viande. La taille et la grosseur des fibres peuvent également affecter cette qualité.

1.2 Métabolisme musculaire et critères de la qualité de la viande chez le porc

De façon générale, la viande est souvent classifiée selon quatre groupes correspondant à certains critères de qualité soit le pH ultime (pH_u , mesure du pH prise 24 heures après l'abattage), les pertes en eau et la couleur. La viande de type RFN, « red, firm and non-exsudative », est associée à une qualité normale. Cette viande se caractérise par un pH_u inférieur à 6,0, une couleur intermédiaire

($L^* = 42-50$) et des pertes en eau n'excédant pas 5 %. La viande de type PSE, « pale, soft and exsudative », se caractérise par un pH_u faible ($pH < 6,0$), une couleur pâle ($L^* > 50$), une texture molle et une faible capacité de rétention d'eau (pertes en eau $> 5\%$). Dans l'industrie porcine, le type PSE est une problématique importante. La viande de type DFD, « dark, firm and dry », se caractérise par un pH_u élevé ($pH \geq 6,0$), une couleur foncée ($L^* < 42$), une texture ferme et une forte capacité de rétention d'eau (pertes en eau $< 5\%$). Le type DFD est aussi problématique, mais moins fréquent que le type PSE. Le type RSE représente un type de viande intermédiaire aux types PSE et RFN. La viande de type RSE, « redish, soft and exsudative », se caractérise par un pH_u inférieur à 6,0, une couleur équivalente à celle de type RFN ($L^* = 42-50$) et des pertes en eau supérieures à 5 %. Les valeurs de pH_u , de couleur (L^*) et de pertes en eau attribuées aux différentes dénominations de qualité ont été tirées de Warner et coll. (1997). Ces valeurs ne sont pas fixes et peuvent varier selon les pays.

Les critères de qualité de la viande chez le porc peuvent être décrits par différentes composantes organoleptiques, technologiques, nutritionnelles et hygiéniques. Suite à l'abattage, les réserves glucidiques sont dégradées, puis les protéines myofibrillaires sont transformées lors du processus de maturation de la viande. La qualité de la viande obtenue dépendra de la cinétique et de l'intensité de ce processus. L'évolution du pH *post mortem* se produisant lors de cette transformation du muscle en viande sera présentée suivie de la description des critères de qualité organoleptique et technologique de la viande de porc.

1.2.1 Évolution du pH *post mortem*

La vitesse de chute du pH et le pH_u sont des facteurs très importants pour la qualité de la viande de porc puisqu'ils influencent d'autres critères, dont la couleur et les pertes en eau (Warris et Brown, 1987; Bendall et Swatland, 1988; Offer, 1991; Warner et coll., 1997; Joo et coll., 1999). Le pH représente l'acidification du muscle lors de sa transformation en viande résultant de la glycolyse *post mortem*. Après l'abattage, l'activité des cellules musculaires se poursuit et tente à maintenir l'homéostasie (équilibre du milieu) via le métabolisme anaérobie. Pour ce faire, elles produisent l'énergie nécessaire à leur activité par la voie du métabolisme glycolytique. Ce métabolisme anaérobie utilise les réserves glucidiques comme substrat énergétique. La dégradation de ces réserves engendre la production plus ou moins rapide d'acide lactique. Ce déchet métabolique, ne pouvant pas être évacuée par le système sanguin, s'accumule dans le muscle ce qui occasionne une chute du pH .

Une relation existe entre le type de fibre et l'évolution du pH *post mortem*. Lefaucheur (2001) rapporte une corrélation positive entre la valeur du pH_u et la proportion des fibres de type I.

Néanmoins, la taille de ces fibres est corrélée négativement avec la vitesse de chute du pH selon Larzul et coll. (1997). La glycolyse anaérobie engendre l'accumulation de lactate ce qui contribue à l'acidification du milieu. Les fibres de type IIb sont souvent citées comme ayant un effet négatif sur la qualité (Essen-Gustavsson et coll., 1992; Larzul et coll., 1997; Karlsson et coll., 1999; Huff-Lonergan et coll., 2002; Chang et coll., 2003). Larzul et coll. (1997) ont montré qu'une augmentation de la proportion de ce type de fibres ainsi que de leur taille entraînait une augmentation de la vitesse de chute du pH et une diminution du pH_u . Le métabolisme glycolytique de ces fibres est responsable de la chute du pH et des pertes de qualité (Essen-Gustavsson, et coll. 1992; Klont et coll., 1998).

Le potentiel glycolytique (PG) permet de mesurer la quantité de composés glucidiques susceptibles de se transformer en acide lactique lors de la glycolyse *post mortem* du muscle (Monin et Sellier, 1985) :

$$PG = 2 ([Glycogène] + [Glucose] + [Glucose-6-Phosphate]) + [Lactate]$$

Les composés glucidiques sont dosés à partir d'un échantillon de muscle. La mesure de PG peut s'effectuer tant sur l'animal vivant (biopsie) que sur la carcasse de l'animal suivant l'abattage (*post mortem*). Larzul et coll. (1998) mentionnent que les mesures par biopsie et *post mortem* du PG n'ont pas exactement la même signification et que les valeurs par biopsie sont, en moyenne, nettement plus élevées que les valeurs *post mortem*. Les valeurs de PG varient également selon le muscle prélevé étant plus élevées dans les muscles de type I que de type II (Monin et coll., 1987, Sellier, 1988; Le Roy et coll., 1996). L'importance du PG sur le déterminisme du pH_u et des critères de qualité de la viande a été montré dans plusieurs études (Monin et Sellier, 1985; Van Laack et coll., 1999; Lonergan et coll., 2001; Huff-Lonergan et coll., 2002; Hamilton et coll., 2003). Larzul et coll. (1998) rapportent que l'héritabilité pour la valeur du PG prise *in vivo* varie entre 0,25 et 0,35 selon les auteurs.

Les facteurs pouvant affecter le PG sont peu connus. Larzul et coll. (1998) ont rapporté une corrélation fortement négative entre le PG et le rapport enzymatique de la *lactate déshydrogénase* (LDH) et de la *citrate synthase* (CS). Leuret et coll. (1999) ont montré que les animaux porteurs du gène RN, caractérisés par un potentiel glycolytique plus élevé, avaient un métabolisme énergétique plus oxydatif que ceux ne comportant pas la caractéristique RN. Quant au type de fibres musculaires, aucune corrélation avec le PG n'a été trouvée avec les fibres de type IIb (Larzul et coll., 1997) ainsi que le ratio des fibres IIa/IIb (Huff-Lonergan et coll., 2002).

1.2.2 Qualité organoleptique

1.2.2.1 *Couleur*

La couleur est un critère de qualité de la viande influencé principalement par la teneur en myoglobine du muscle (Lindahl et coll., 2001). Le consommateur recherche une viande ni trop pâle, ni trop foncée et de couleur homogène (Lebret et coll., 1999). La couleur peut s'évaluer selon une méthode instrumentale qui nécessite l'utilisation d'un appareil spécialisé, un colorimètre. Cet instrument de mesure décompose la couleur selon trois paramètres distincts : la réflectance (L^*), la variation du rouge au vert (a^*) et la variation du jaune au bleu (b^*). La réflectance (L^*) est principalement influencée par le pH. Comme l'explique Swatland (1992), la chute de pH entraîne des modifications de charges électrostatiques sur les fibres musculaires occasionnant un réarrangement spatial de ces fibres suite à l'abattage (Bertram et coll., 2004). La solubilité des protéines va aussi affecter la couleur. Offer (1991) et Joo et coll. (1999) ont mentionné que la diminution de la solubilité des protéines sarcoplasmiques rend la viande plus pâle. La faible solubilité des protéines de la viande PSE pourrait s'expliquer par la précipitation des protéines sarcoplasmiques dénaturées sur les myofibrillaires empêchant l'apparition de la couleur rouge, a^* , et limitant la réflectance, L^* (Bendall et Wismer-Pedersen, 1962 cités par Joo et coll., 1999). La solubilité des protéines est évaluée à partir d'extraction dans des solutions de différentes forces ioniques, soit à faible force ionique pour l'extraction des protéines sarcoplasmiques et à force ionique plus grande pour les protéines myofibrillaires.

Henckel et coll. (1997) ont montré que la proportion de fibres de type I ainsi que l'activité de la *citrate syntase* sont corrélées positivement avec la teneur en pigment ferrique du *longissimus dorsi*. Selon Candek-Potokar et coll. (1999), l'augmentation de la surface relative de fibres du type I augmente la réflectance, L^* et réduit la valeur a^* . Quant aux fibres de type II, Eggert et coll. (2002) indiquent que la proportion des isoformes IIa et IIx est corrélée négativement avec la valeur de b^* . Henckel et coll. (1997) mentionnent que la proportion de fibres IIb est corrélée négativement avec la teneur en pigment ferrique. Ceci appuie l'étude de Huff-Lonergan et coll. (2002) qui indique que les animaux ayant un plus grand nombre de fibres de type IIb ont tendance à avoir une viande plus pâle. Lefaucheur (1989) mentionne que l'augmentation de la taille des fibres, tous types confondus, conduit à une viande de couleur plus pâle. Au contraire, Henckel et coll. (1997) mentionnent que la teneur en pigment ferrique augmente avec l'augmentation de la taille des fibres de type IIb.

1.2.2.2 *Tendreté*

Koohmaraie (1992) mentionne que la tendreté est sans doute le critère organoleptique le plus important lorsqu'il est question de la consommation de viande fraîche. La tendreté de la viande

correspond à la facilité avec laquelle celle-ci se laisse trancher ou mastiquer (Monin 1983, cité par Lebret et coll., 1999). Cette propriété fait intervenir plusieurs paramètres, soit la teneur en collagène, le rétrécissement des sarcomères durant le développement de la rigidité cadavérique et l'activité protéolytique. Pour la présente étude, l'attention sera mise sur la structure myofibrillaire et plus spécifiquement sur l'impact de l'activité protéolytique du système calpaïnes/calpastatine sur les propriétés des myofibrilles. Plusieurs études ont montré l'implication des calpaïnes dans le développement de la tendreté de la viande en fonction du temps de maturation (Dransfield et coll., 1992, Goll et coll., 1992 et 1998; Koohmaraie, 1992, 1994 et 1996, Ouali, 1992; Dransfield, 1993, Koohmaraie et coll., 2002).

Le système calpaïnes/calpastatine semble jouer un rôle central dans la protéolyse *post mortem* par la dégradation des myofibrilles ainsi que les protéines qui leur sont associées (Koohmaraie, 1992, Hopkins et Thompson, 2002). Tel que mentionné par Goll et coll. (1998), l'action protéolytique des calpaïnes sur les myofibrilles n'est pas systémique, mais plutôt spécifique. Koohmaraie (1986) a mentionné que les protéines myofibrillaires desmine et troponine T comme étant dégradées par les calpaïnes. Selon Lametsch et coll. (2004), l'actine et les chaînes lourdes de mysosine sont également dégradées par les μ -calpaïnes, mais dans une moindre mesure que la desmine. Koohmaraie (1986) et Taylor et coll. (1995) ont montré que l'action protéolytique agit à la périphérie du disque Z (Figure 1). Ceci occasionne des ruptures dans les structures myofibrillaires à cet endroit. Taylor et coll. (1995) ont mentionné que l'affaiblissement de 5 % des disques Z était suffisant pour occasionner une variation de tendreté perceptible.

Les enzymes du système calpaïnes/calpastatine sont nombreuses. Néanmoins, il existe trois formes plus connues, soit la μ -calpaïne, la m-calpaïne et la calpastatine. L'action protéolytique provient de la μ -calpaïne et la m-calpaïne tandis que la calpastatine agit comme inhibiteur sur l'action enzymatique des calpaïnes. Les mécanismes d'activation de ces enzymes ne sont pas encore tous élucidés. Il est cependant connu qu'une certaine concentration en calcium est requise pour leur activation. Selon Etherington et coll. (1984, cité par Hopkins et Taylor, 2004), la teneur en calcium pour activer la m-calpaïne se situe entre 1000 et 2000 μM et entre 50 et 100 μM pour la μ -calpaïne. Goll et coll. (2003) ont observé des concentrations inférieures pour activer les calpaïnes, soit entre 300 et 800 $\mu\text{M Ca}^{2+}$ pour la m-calpaïne et entre 3 et 50 $\mu\text{M Ca}^{2+}$ pour la μ -calpaïne. Boehm et coll. (1998) Goll et coll. (2003) et Lametsch et coll. (2004), ont mentionné que les calpaïnes pourraient s'autolyser ce qui diminuerait considérablement la concentration en calcium nécessaire à leur activation. Elce et coll. (1997) ont mentionné que les formes autolysées de calpaïnes étaient instables ce qui complique la mesure de leur activité. Goll et coll. (2003) ont indiqué que la concentration en calcium nécessaire pour activer la calpastatine était inférieure aux concentrations d'activation des calpaïnes.

Goll et coll. (1995, cité par Boehm et coll., 1998) ont montré qu'une liaison était possible entre la μ -calpaïne et les myofibrilles. Boehm et coll. (1998), Delgado et coll. (2001) et Melody et coll. (2004) n'ont pas été en mesure d'établir, hors de tout doute, l'implication de ce type de liaison dans le processus d'attendrissement de la viande. Melody et coll. (2004) ont toutefois montré que les liaisons μ -calpaïne/myofibrilles n'étaient pas aléatoires. La μ -calpaïne se localiserait à la jonction de la bande A et à la ligne Z, les zones de substrats protéolytiques pour les calpaïnes. Delgado et coll. (2001) ont montré que l'activité protéolytique des liaisons μ -calpaïne/myofibrilles était partiellement inhibée par la calpastatine. Des travaux additionnels semblent requis afin de cibler l'implication de la liaison μ -calpaïne/myofibrilles dans le processus de maturation de la viande.

L'implication d'autres enzymes du système calpaïnes/calpastatine dans le processus de tendreté de la viande fait l'objet de quelques études. Ilian et coll. (2004) ont montré une possible implication des calpaïnes 3 et 10 dans le développement de la tendreté de la viande. Par contre, Parr et coll. (1999) n'ont pas été en mesure de mettre en valeur le rôle de la calpaïne 3 dans le mécanisme d'attendrissement de la viande. L'implication des autres formes de calpaïnes en rapport avec la tendreté de la viande devra être davantage investiguée. Il est possible que certaines formes interviennent dans le développement de la tendreté par un rôle de régulation ou par une action protéolytique directe sur les fibres musculaires.

Plusieurs techniques peuvent être employées afin de quantifier la tendreté de la viande. Parmi ces méthodes, les plus fréquemment utilisées sont les forces de cisaillement et la mesure de la tendreté par l'analyse sensorielle. La mesure des forces de cisaillement est une mesure mécanique de la tendreté. En plus d'être influencée par l'état protéolytique des structures myofibrillaires et de l'état de contraction, elle est affectée par la taille des fibres musculaires (Crouse et coll., 1991). L'évaluation de la tendreté par cette méthode fournit une mesure globale de la tendreté au même titre que l'évaluation sensorielle de la tendreté. L'évaluation sensorielle est basée sur la perception humaine en prenant en considération les paramètres affectant la tendreté de la viande. La tendreté est perçue par les sens : la vue, le goût, l'odeur, le toucher à la main ou dans la bouche, voir même l'ouïe. L'utilisation d'un jury composé de plusieurs individus ainsi qu'une méthodologie rigoureuse permettent de rendre les évaluations sensorielles objectives.

L'indice de fragmentation myofibrillaire (IFM) est une mesure indirecte de la tendreté développée par Davey et Gilbert (1969). Ceux-ci ont montré que les variations de turbidité associées au phénomène d'attendrissement étaient liées à un affaiblissement de la portion du disque Z de la structure des sarcomères par l'action protéolytique des calpaïnes (Figure 1.1). Les protéines structurales du disque Z, dont la nébuline et la titine, permettent la liaison entre les myofibrilles. La protéolyse de ces protéines par les calpaïnes conduit donc à un attendrissement de la viande. Taylor et coll. (1995) ont établi une corrélation positive entre l'IFM et l'activité protéolytique des

calpaïnes. Selon Olson et coll. (1976), l'IFM explique plus de 50 % de la variation de la tendreté de la viande. Culler et coll. (1978) ont montré l'existence d'une corrélation négative significative de 0,70 entre la mesure de l'IFM et celle des forces de cisaillement.

Étant donné l'influence majeure du pH dans le déterminisme de la qualité, certaines études ont traité de l'impact du pH_u sur l'activité protéolytique des enzymes du système calpaïnes/calpastatine. Watanabe et coll. (1996) mentionnent que l'évaluation de l'impact du pH sur l'activité protéolytique doit tenir compte des interactions entre l'activité de chaque enzyme impliquée et le pH. Dransfield (1993) indique que la réduction du pH à 6,1 active la μ -calpaïne. L'activité de la calpastatine est réduite lorsque le pH est inférieur à 6,5 et est inhibée à un pH de 5,7 (Cottin et coll., 1981 cité par Dransfield, 1993). Ainsi, durant la chute du pH de 6,1 à 5,5, l'activité inhibitrice de la calpastatine est graduellement éliminée et l'activité de la μ -calpaïne diminue à environ 25 % par rapport à son activité maximale, à un pH neutre (Koochmaraie et coll., 1986, 1987). Ertbjerg et coll. (1999) ont montré, chez le porc, qu'un pH_u de 6,32 versus 5,66 favorisait l'activité de la μ -calpaïne sans influence notable sur l'activité de la m-calpaïne et de la calpastatine. Il est important de spécifier que les porcs de cette étude ont été soumis à de l'activité physique et qu'une injection d'épinéphrine leur avait été administrée. Ceci était dans le but d'épuiser leur réserve en glycogène et ainsi favoriser l'obtention d'un pH_u plus élevé. Comme ces auteurs le mentionnent, l'augmentation de l'activité protéolytique sert à mobiliser les protéines pour la production de l'énergie nécessaire au maintien de l'homéostasie.

Certaines études portent sur l'impact de la vitesse de chute du pH sur l'activité protéolytique des enzymes du système calpaïnes/calpastatine. O'Halloran et coll. (1997) ont montré qu'une vitesse de chute rapide du pH engendrait une augmentation de l'activité de la μ -calpaïne, mais n'affectait pas l'activité de la m-calpaïne et de la calpastatine chez le bovin. À l'opposé, Claeys et coll. (2001), Hwang et Thompson (2001) et Melody et coll. (2004) ont montré que des vitesses rapides de chute de pH causaient une diminution de l'activité de la μ -calpaïne chez les bovins et le porc. Claeys et coll. (2001) ont également mesuré une diminution de l'activité de la m-calpaïne en fonction de la vitesse de chute du pH. Aucun effet de la vitesse de chute du pH n'a été noté pour l'activité de la calpastatine (Claeys et coll., 2001, Hwang et Thompson, 2001). La perte d'activité de la μ -calpaïne associée à une vitesse de chute de pH rapide serait le résultat de l'autolyse de la μ -calpaïne ce qui favoriserait son activation (Claeys et coll., 2001) ou la formation de liaisons μ -calpaïne/myofibrilles (Melody et coll., 2004).

Karlsson et coll. (1993) et Chang et coll. (2003) ont montré que l'augmentation de la proportion de fibres de type I était associée à une augmentation de la tendreté. À l'inverse, Henckel et coll. (1997) ont montré une relation négative entre la proportion de fibres de type IIa et la tendreté. Ils ont également trouvé que l'ajout des fibres de type I et IIa permettait d'obtenir une meilleure explication

de la tendreté observée. L'augmentation de la taille des fibres musculaires serait liée à une diminution de la tendreté de la viande chez les bovins (Crouse et coll., 1991) et chez le porc (Lefaucheur, 2001). Néanmoins, plusieurs études chez le porc signalent une liaison négative entre le diamètre des fibres et la tendreté (Carpenter et coll., 1963 et Candek-Potokar et coll., 1999). La tendreté de la viande serait positivement corrélée à la taille des fibres de type IIb selon Candek-Potokar et coll. (1998), mais négativement corrélée avec la taille des fibres de type IIa selon Maltin et coll. (1997). En somme, la recherche d'un nombre total de fibres élevé associé à un diamètre des fibres relativement faible constitue a priori une voie permettant de concilier les impératifs quantitatifs et qualitatifs de la production de viande de porc (Lebret et coll., 1999).

1.2.2.3 *Flaveur et jutosité*

La flaveur et la jutosité sont deux autres critères de qualité organoleptiques. La flaveur est liée aux perceptions olfactives et gustatives et dépend principalement des lipides musculaires (De Vol et coll., 1988). La jutosité correspond à l'impression de libération de jus au cours de la mastication. Elle est liée à la quantité d'eau libre subsistante dans la viande donc à sa rétention en eau et à la sécrétion de salive stimulée essentiellement par les lipides (Lebret et coll., 1999). L'évolution du pH *post mortem*, qui influence fortement la rétention en eau et les pertes à la cuisson, joue un rôle important dans la détermination de la jutosité de la viande (Monin 1988 cité par Lebret et coll., 1999). Le contenu en lipides intramusculaires influence favorablement la jutosité de la viande selon de Vol et coll. (1988).

Peu d'études portent sur l'impact des fibres musculaires sur la flaveur et la jutosité. Henckel et coll. (1997) ont montré une relation négative entre la proportion de fibres de type IIa et la teneur en lipides intramusculaires ainsi que la flaveur. À l'inverse, ils concluent que la proportion de fibres de type IIb est corrélée positivement avec la teneur en gras intramusculaire et la flaveur. Selon Candek-Potokar et coll. (1998), la jutosité de la viande serait négativement corrélée au pourcentage de fibres de type IIa et positivement corrélée au pourcentage et à la taille des fibres de type IIb.

1.2.3 Qualité technologique

La qualité technologique de la viande correspond à ses aptitudes à subir une transformation. Dans plusieurs cas de transformation de la viande de porc, les pertes en eau sont un critère de qualité de la viande important (Warris et Brown, 1987; Bendall et Swatland, 1988; Offer, 1991; Warner et coll., 1997; Joo et coll., 1999). Les pertes en eau représentent l'eau qui s'écoule de la viande sans qu'aucune force mécanique ne lui soit appliquée. Il a été mentionné précédemment que l'arrangement spatial des fibres musculaires est altéré suite à l'abattage (Bertram et coll., 2004). La chute rapide du pH provoque la dénaturation des protéines myofibrillaires expulsant l'eau hors de

leur structure donc conduisant à des pertes en eau (Offer, 1991; Swatland, 1992). Le pH_u a un effet associé à la force électrostatique nécessaire au maintien de l'équilibre de l'arrangement structural (Swatland, 1992). Plus le pH_u se rapproche de la valeur 5,5, le point isoélectrique des protéines myofibrillaires, moins les charges nettes des protéines sont suffisantes pour retenir l'eau libre favorisant son écoulement.

Candek-Potokar et coll. (1999) ont montré une corrélation positive entre la surface relative de fibres du type I et la réduction des pertes en eau. Ils ont également noté une relation négative entre l'isoforme IIx et le pH_u ainsi que les pertes en eau. Dans l'étude de Huff-Lonergan et coll. (2002), les animaux ayant un plus grand nombre de fibres de type IIb ont tendance à avoir une viande ayant plus de pertes en eau.

1.3 Effet du poids d'abattage, de la vitesse de croissance et du sexe sur les caractéristiques musculaires en relation avec la qualité de la viande

Lefaucheur (1989), Karlsson et coll. (1999), Lefaucheur et Gerard (1998) et Lefaucheur (2001) ont fait état, dans leur revue de littérature, de la plasticité des fibres musculaires en réponse à divers stimuli dont le sexe, l'environnement, le profil génétique, les pressions de sélections et le poids d'abattage. La fibre est une structure vivante ayant la capacité de modifier ses caractéristiques métaboliques en fonction de ses besoins. Par exemple, Lefaucheur et coll. (1991) ont montré que l'exposition au froid engendre une diminution du métabolisme glycolytique du *longissimus dorsi*. Rahelic et Puac (1981), Lonergan et coll. (2001) et Ruusunen et Puolanne (2004) ont montré que les pressions de sélection mèneraient à l'augmentation de la proportion des fibres de type IIb, ce qui causerait des pertes de qualité. Les facteurs susceptibles d'avoir un impact sur le profil des fibres musculaires qui sont le plus souvent évalués sont le poids d'abattage, la vitesse de croissance et le sexe.

1.3.1 Effet du poids d'abattage

L'augmentation du poids d'abattage a des répercussions sur les fibres musculaires. Selon Lefaucheur et Vigneron (1986), l'augmentation du poids de la naissance à 120 kg engendre une augmentation de la taille des différents types de fibres musculaires. Ces auteurs ont également trouvé que les fibres de type I et IIb sont plus touchées par l'augmentation de poids que les fibres de type IIa. Candek-Potokar et coll. (1999) ont montré qu'un poids d'abattage de 130 kg comparativement à 100 kg engendre une augmentation de la taille des fibres du *longissimus dorsi* et plus particulièrement celles de type I et IIb. La proportion des différents types de fibres et la surface relative occupée par chaque type ne variaient pas significativement. Eggert et coll. (2002) ont mesuré l'effet de l'augmentation du poids d'abattage de 120 kg à 135 kg sur les différents types

de fibres musculaires. La méthode employée par ces derniers est basée sur l'identification des différentes chaînes de myosine qui composent le *longissimus dorsi*. Cette méthode leur a permis d'identifier les quatre isoformes pures de la myosine connues chez le *longissimus dorsi* de porc. Dans leur étude, les proportions des différentes chaînes lourdes de myosine ne variaient pas avec le poids d'abattage.

Pour ce qui est du métabolisme énergétique, Lefaucheur et Vigneron (1986) ont montré que l'activité de la *lactate déshydrogénase* augmente avec le poids de l'animal de la naissance à 120 kg. Par contre, le taux d'augmentation de l'activité de l'enzyme a considérablement ralenti au-delà de 100 kg. Ils ont également mesuré l'activité enzymatique de l'*isocitrate déshydrogénase*, une enzyme impliquée dans le métabolisme oxydatif, comme la *citrate synthase* mentionnée précédemment. L'activité de cette enzyme oxydative n'augmente pas à un taux équivalent à celui de la *lactate déshydrogénase*. L'activité glycolytique augmente donc plus rapidement que l'activité oxydative. L'activité de l'*isocitrate déshydrogénase* se stabilise à partir de 100 kg comme pour la *lactate déshydrogénase*.

Chez le porc, aucun article ne semble faire état des fluctuations de l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine en relation avec le poids d'abattage ou avec le vieillissement de l'animal. Néanmoins, Veiseth et coll. (2004) ont étudié le comportement de l'activité des calpaïnes du *longissimus dorsi* provenant d'agneaux de différents âges et par conséquent, de poids différents. Ils ont montré que l'activité de la calpastatine diminue entre 2 et 10 mois d'âge. La μ -calpaïne subit une augmentation de son activité entre 4 et 6 mois pour redescendre entre 8 et 10 mois tandis que la m-calpaïne diminue progressivement de 2 à 10 mois. Northcutt et coll. (1998) ont fait une étude similaire chez la dinde. Ils ont trouvé que les enzymes du système calpaïnes/calpastatine se comportent différemment selon les muscles analysés, soit la cuisse et la poitrine, ainsi que selon l'âge de l'animal. Selon cette étude, l'activité des calpaïnes et de la calpastatine est plus élevée pour la poitrine des animaux ayant 5 semaines comparativement à ceux de 9, 13 et 17 semaines. L'activité enzymatique des calpaïnes pour la cuisse n'est pas influencée par l'âge. Par contre, l'activité de la calpastatine augmente avec l'âge de l'animal.

En plus d'avoir des effets sur le métabolisme musculaire, l'augmentation de poids se répercute sur le pH_u . Les travaux de Sutton et coll. (1997), Candek-Potokar et coll. (1998) et Latorre et coll. (2004) ont tous montré que l'augmentation du poids d'abattage chez le porc n'occasionne pas de variation du pH_u . Cependant, Eggert et coll. (2002) ont obtenu des valeurs de pH_u supérieure pour des animaux abattus à 135 kg comparativement à ceux abattus à 120 kg. Cisneros et coll. (1996) ont également trouvé que l'augmentation du poids d'abattage entraîne une diminution du pH_u . La diminution de la valeur de pH_u dans cette expérience peut être attribuable à l'augmentation beaucoup plus importante du poids que pour les autres travaux, avec un poids maximal de 160 kg.

Certaines études traitent de l'impact du poids d'abattage du porc sur la couleur de la viande mesurée mécaniquement. Aucune variation de couleur n'a été observée avec la modification du poids d'abattage de 100 à 130 kg (Candek-Potokar et coll., 1999) ou de 100 à 140 kg (Sutton et coll., 1997). Selon Cisneros et coll. (1996), l'augmentation du poids d'abattage entre 100 et 160 kg provoque une diminution de la couleur subjective. Latorre et coll. (2004) ont montré que l'augmentation du poids d'abattage de 116 à 133 kg engendre une diminution de la valeur du L*. Une augmentation de la valeur du a* avec l'augmentation du poids d'abattage a été observée par Eggert et coll. (2002) chez des porcs de 120 et 135 kg ainsi que par Latorre et coll. (2004) chez des porcs de 116 et 133 kg. Ces derniers ont appuyé leurs résultats avec la mesure de la teneur de myoglobine. Ils ont trouvé que la teneur en myoglobine augmente avec le poids d'abattage. La différence devient significative à un poids de 133 kg.

Les pertes en eau n'augmentent pas avec le poids d'abattage variant entre 100 et 140 kg dans l'étude de Sutton et coll. (1997), entre 100 et 130 kg dans celle de Candek-Potokar et coll. (1999) et entre 120 et 135 kg dans celle d'Eggert et coll. (2002). Par contre, Cisneros et coll. (1996) ont montré que chez les porcs abattus à des poids plus élevés, entre 100 et 160 kg, les pertes en eau augmentent. Sutton et coll. (1997) n'ont trouvé aucune variation de la solubilité des protéines attribuable à l'augmentation du poids d'abattage entre 100 et 140 kg.

Les caractéristiques sensorielles varient légèrement avec l'augmentation du poids d'abattage. La littérature ne mentionne aucun effet de l'augmentation du poids sur la jutosité et la flaveur. La tendreté mesurée, soit mécaniquement ou par un panel de dégustation, est affectée par l'augmentation du poids d'abattage. Cisneros et coll. (1996), Candek-Potokar et coll. (1999) et Eggert et coll. (2002) n'ont pas trouvé de variation de la tendreté mesurée par les forces de cisaillement pour différents poids d'abattage de porc. Par contre, la tendreté mesurée par un panel de dégustation diminue avec l'augmentation du poids selon les travaux de Cisneros et coll. (1996), Candek-Potokar et coll. (1999) et Eggert et coll. (2002).

1.3.2 Effet de la vitesse de croissance

Différents paramètres sont utilisés pour décrire la vitesse de croissance. Ceci peut mener à certaines confusions dans l'interprétation de l'impact de ce facteur sur la qualité de la viande. Les paramètres les plus couramment utilisés sont le gain moyen quotidien et, de l'anglais, le « *lean growth efficiency* », qui peut se traduire par l'efficacité de croissance des tissus maigres. Le gain moyen quotidien se définit comme étant l'augmentation quotidienne de poids vif de l'animal tandis que l'efficacité de croissance des tissus maigres correspond au rapport entre la conversion alimentaire et la diminution du gras dorsal (Lonergan et coll., 2001). Le gain moyen quotidien est

généralement utilisé comme indice de la vitesse de croissance, et le paramètre « *lean growth efficiency* » ne sera pas discuté davantage.

Comme pour l'augmentation du poids d'abattage, l'augmentation de la vitesse de croissance va engendrer une modification de la physiologie des fibres musculaires des animaux. Dwyer et coll. (1993) ont montré que le nombre total de fibres musculaires avait une influence positive sur le gain quotidien des porcs. Dans une étude d'Oksbjerg et coll. (2000), suite à une sélection sur la vitesse de croissance en fonction du gain quotidien pendant vingt années de sélection, les animaux ayant une vitesse de croissance rapide ont montré des fibres de plus petit diamètre pour une même surface d'oeil de longe. Bien que l'angle et la longueur des fibres a un rôle dans le déterminisme de la surface de l'oeil de la longe, le nombre de fibres est également très important. Il serait possible que le nombre de fibres des animaux ait augmenté suite à vingt années de sélection. Brocks et coll. (1998 et 2000) ont comparé des mesures histochimiques pour des porcs sélectionnés selon leur gain quotidien. Ces travaux ont montré que la sélection sur le gain favorise les fibres de type I versus celles de type II pour le *longissimus dorsi*. Ces auteurs ont également montré que la sélection sur le gain entraîne une augmentation de la taille des fibres musculaires.

Oksbjerg et coll. (2000) ont trouvé que la pression de sélection sur le gain quotidien entraîne une diminution de l'activité des deux enzymes du métabolisme énergétique, soit la *citrate synthase* et la *lactate déshydrogénase*. Ils ont également montré que la teneur résiduelle en glucose n'est pas affectée par l'amélioration de la vitesse de croissance. Hamilton et coll. (2003) ont montré que le potentiel glycolytique n'est pas influencé par les performances de croissance.

Kristensen et coll. (2002) ont étudié l'activité des calpaïnes chez des animaux ayant différentes vitesses de croissance (effet de la croissance compensatoire). L'activité de la μ -calpaïne et de la m-calpaïne était plus élevée chez les animaux dont la croissance est plus rapide. L'activité de la calpastatine n'était cependant pas modifiée. Claeys et coll. (2001) ont caractérisé l'activité des protéases pour deux lignées de porcs, soit une sélectionnée pour la teneur en viande maigre et une autre pour la vitesse de croissance. Tel qu'obtenu dans l'étude de Kristensen et coll. (2002), les animaux à croissance rapide avaient des activités de la μ -calpaïne et de la m-calpaïne plus élevées. Therkilderness et coll. (2002) ont comparé l'effet de la vitesse de croissance sur le développement de la tendreté chez des veaux. Afin de comprendre le processus d'attendrissement de la viande, ils ont mesuré l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine. L'activité de la μ -calpaïne était significativement plus importante chez les animaux à vitesse de croissance rapide. Contrairement à ce qu'avaient observé Kristensen et coll. (2002), l'activité de la calpastatine était influencée par la vitesse de croissance avec une activité plus élevée chez les animaux à croissance rapide. Ce résultat a également été obtenu par Sazili et coll. (2003) chez le veau. Ces

derniers n'ont cependant pas été en mesure de montrer de relation entre l'activité de la μ -calpaïne et de la m-calpaïne avec la vitesse de croissance.

Tel que mentionné précédemment, le métabolisme musculaire est influencé par la sélection pour la vitesse de croissance. Le pH est influencé par l'augmentation de la vitesse de croissance (Brocks et coll., 1998; Oksbjerg et coll., 2000; Claeys et coll., 2001; Kristensen et coll., 2002; Purchas et coll. 2002). Purchas et coll. (2002) ont mené une étude sur l'effet de la vitesse de croissance sur la viande de bœuf. Dans cette étude, la vitesse de croissance était contrôlée par restriction alimentaire. Ils ont montré que le pH_u des animaux à croissance plus rapide est plus élevé que ceux dont la croissance était restreinte. Kristensen et coll. (2002) ont trouvé des résultats similaires chez le porc. Brocks et coll. (1998) ont trouvé que le pH_u est plus faible chez les animaux sélectionnés pour une croissance rapide en comparaison avec ceux sélectionnés pour la teneur en maigre. Ils ont également montré que la sélection sur le gain quotidien favorise une augmentation de la valeur du pH_u pour les différentes générations issues de cette sélection. Brocks et coll. (1998) n'ont pas montré d'effet de la vitesse de croissance sur le pH mesuré à 45 minutes suite à l'abattage. Par contre, Claeys et coll. (2001) ont montré que la valeur du pH mesuré une heure suivant l'abattage est plus élevée chez les animaux ayant été sélectionnés pour la croissance que ceux sélectionnés pour la teneur en maigre. Oksbjerg et coll. (2000) ont trouvé que l'effet de la sélection sur le gain quotidien entraîne une diminution de la valeur du pH_u ainsi que celle du pH 45 minutes. L'effet de la vitesse de croissance sur les pertes en eau a été évalué par Oksbjerg et coll. (2000) ainsi que par Kristensen et coll. (2002). Dans les deux études, les pertes en eau n'étaient pas influencées par l'augmentation de la vitesse de croissance.

L'information concernant la relation entre la couleur objective et la vitesse de croissance varie selon les auteurs répertoriés. Dans l'étude de Oksbjerg et coll. (2000), la valeur de L^* augmentait avec la pression de sélection sur le gain quotidien tandis que la valeur de a^* diminuait et que celle de b^* restait stable. Autrement dit, la viande des animaux sélectionnés était plus pâle et moins rouge que celle de leurs prédécesseurs. Oksbjerg et coll. (2000) ont également montré que la teneur en myoglobine diminuait avec la sélection pour le gain quotidien. Ceci explique, en partie, les pertes de couleur mesurée mécaniquement. À l'opposé, Brocks et coll. (1998) ont trouvé que la sélection sur le gain engendrait, de génération en génération, une diminution de la valeur du L^* et du b^* , mais n'avait aucun effet sur la valeur de a^* . Dans cette étude, la teneur en myoglobine n'a pas été mesurée. Purchas et coll. (2002) ont montré, chez les bovins, que la vitesse de croissance n'engendrait aucune altération de la valeur du L^* , mais que les valeurs du a^* et du b^* diminuaient légèrement avec l'augmentation de la vitesse de croissance.

La qualité sensorielle ainsi que la tendreté mesurée mécaniquement en relation avec la vitesse de croissance ont également été évaluées par certains auteurs. En général, la tendreté augmentait

avec l'augmentation de la vitesse de croissance. Selon Kristensen et coll. (2002), l'indice de fragmentation myofibrillaire mesuré à un jour après l'abattage était plus élevé chez les animaux à croissance rapide. Ils ont également montré que la mesure des forces de cisaillement est plus faible chez ces animaux. Purchas et coll. (2002) et Therkildsen et coll. (2002) ont tiré la même conclusion chez les bovins. En contrepartie, Oksbjerg et coll. (2000) n'ont pas trouvé de variation significative entre la mesure des forces de cisaillement de la viande de porcs ayant cumulé vingt années de sélection sur le gain en comparaison avec les animaux non sélectionnés. L'analyse sensorielle de la tendreté effectuée par Purchas et coll. (2002) et Therkildsen et coll. (2002) a confirmé les résultats obtenus avec la mesure des forces de cisaillement chez les bovins. Dans les deux cas, les panélistes ont déterminé que la viande des animaux à croissance rapide était plus tendre que celle provenant des animaux à croissance lente. Oksbjerg et coll. (2000) ont trouvé une légère variation pour la tendreté lorsqu'elle est mesurée par l'entremise de l'analyse sensorielle. Pour leur groupe à l'étude, l'analyse sensorielle a montré que les animaux à croissance lente produisaient une viande légèrement plus tendre que ceux à croissance rapide. Therkildsen et coll. (2002) ont montré chez le bovin que les animaux à croissance rapide avaient une plus forte saveur que ceux à croissance lente. Oksbjerg et coll. (2000) ont montré que la saveur des porcs sélectionnés sur une croissance plus rapide diminuait en comparaison avec leurs congénères à croissance lente. Quant à la jutosité, elle n'était pas influencée par les variations de vitesse de croissance chez le bovin (Purchas et coll., 2002; Therkildsen et coll., 2002) et le porc (Oksbjerg et coll., 2000).

1.3.3 Effet du sexe

L'influence du sexe sur le déterminisme du profil des fibres musculaires varie en fonction des espèces. Contrairement à beaucoup d'espèces, par rapport aux mêmes poids, le nombre total de fibres chez le porc ne varie pas en fonction des sexes, mais la taille moyenne des différentes fibres est plus grande pour les femelles que pour les mâles selon Larzul et coll. (1997) et Rehfeldt et coll. (2004). Larzul et coll. (1997) ont montré que les fibres de type IIa et IIb étaient de plus grande taille chez les femelles. Le pourcentage de chaque type de fibres n'était pas influencé par le sexe dans l'étude de Larzul et coll. (1997). Malgré l'augmentation de la taille des fibres de type IIa et IIb, Larzul et coll. (1997) n'ont pas trouvé de variation pour ce qui est du volume relatif occupé par les différents types de fibres. Cette absence de variation a été rapportée par Lefaucheur et Gerrard (1998) dans une revue de littérature. Brocks et coll. (1998 et 2000) ont également trouvé que le pourcentage de chaque type de fibre ne variait pas en fonction des différents sexes. Par contre, ils ont montré que le pourcentage des fibres de type I et IIb diminuait chez les femelles lorsqu'elles sont soumises à une sélection combinant l'amélioration de la teneur en maigre et le gain quotidien. Larzul et coll. (1997) ont montré que le sexe n'influçait pas l'activité enzymatique associée au métabolisme des différents types de fibre. Il est important de mentionner que les animaux étudiés par Larzul et coll. (1997) provenaient d'une population homogène. S'ils avaient employé deux

populations distinctes, un effet sexe aurait pu être mis en évidence. Ceci serait consistant avec les travaux de Brocks et coll. (1998 et 2000) au sujet de l'impact du modèle de sélection sur la relation entre le sexe et la proportion de chaque type de fibres.

Pour ce qui est du substrat énergétique du métabolisme glycolytique, Larzul et coll. (1997) sont parmi les seuls à avoir présenté des résultats séparant les sexes. Ils ont montré que le potentiel glycolytique des femelles était légèrement plus élevé que celui des mâles. Bien que Larzul et coll. (1997) aient montré une légère variation du potentiel glycolytique entre les mâles et les femelles, ils n'ont pas trouvé de variation entre les sexes pour le pH_u , ni pour le pH mesuré à 45 minutes après l'abattage. L'absence de variation du pH de muscles du jambon selon le sexe a été mentionnée par différents auteurs, dont Barton-Gades (1987), Warris et coll. (1990), Cisneros et coll. (1996) et Candek-Potokar et coll. (2002). Conséquemment à l'absence de variation du pH_u , Warris et coll. (1990) ont trouvé que la solubilité des protéines n'était pas affectée par le sexe.

Différentes études ont comparé la couleur de la viande provenant d'animaux mâles ou femelles. La majorité des études recensées ont montré que le sexe n'influçait pas la couleur des muscles de la longe et du jambon mesurée avec un instrument ou évaluée de façon subjective (Larzul et coll., 1997; Lindahl et coll., 2001; Candek-Potokar et coll., 2002 et Latorre et coll., 2004). Par contre, Warris et coll. (1990) ont trouvé que les castrats produisaient une viande dont la valeur a^* était plus élevée que chez les femelles. Ceci signifie que la viande était plus rouge chez les castrats. Cisneros et coll. (1996) ont trouvé que la viande des castrats était plus foncée que celle des femelles. Les résultats de Warris et coll. (1990) pour la variation de la couleur rouge sont appuyés par une teneur en pigment ferrique plus élevée chez les castrats que chez les femelles. Plus récemment, Latorre et coll. (2004) n'ont pas été en mesure d'établir une relation entre la teneur en myoglobine et le sexe. Larzul et coll. (1997) n'ont pas trouvé de différence pour la teneur en fer hémique entre les sexes.

Peu d'études ont porté sur la comparaison des pertes en eau chez les mâles et les femelles. Cisneros et coll. (1996) n'ont pas trouvé de variation entre les sexes pour les pertes en eau. Candek-Potokar et coll. (2002) ont trouvé que les muscles du jambon des femelles possédaient de meilleures caractéristiques de rétention d'eau. Barton-Gades (1987) ont trouvé des valeurs plus élevées de forces de cisaillement chez les verrats que chez les femelles et les castrats. Ils n'ont cependant pas noté de différence entre les forces de cisaillement mesurées chez les castrats et les femelles. Au contraire, Cisneros et coll. (1996) n'ont pas montré un effet du sexe sur les forces de cisaillement ainsi que sur l'analyse sensorielle de la tendreté, de la flaveur ou de la jutosité.

1.4 Hypothèses de recherche

Les hypothèses de recherche sont les suivantes :

L'augmentation du poids d'abattage va engendrer des modifications du métabolisme musculaire et aura des répercussions sur le développement de la qualité technologique et organoleptique de la viande.

La sélection sur l'amélioration du gain moyen quotidien (vitesse de croissance) va occasionner des modifications du métabolisme musculaire et aura des répercussions sur la qualité technologique et organoleptique de la viande.

Les sexes (castrats et femelles) ont un métabolisme musculaire différent, ce qui influence le développement de la qualité technologique et organoleptique de la viande.

Les caractéristiques histologiques du *psoas major* et du *longissimus dorsi* vont être influencées par le poids d'abattage, le gain moyen quotidien et le sexe, et ces variations seront semblables pour les deux muscles.

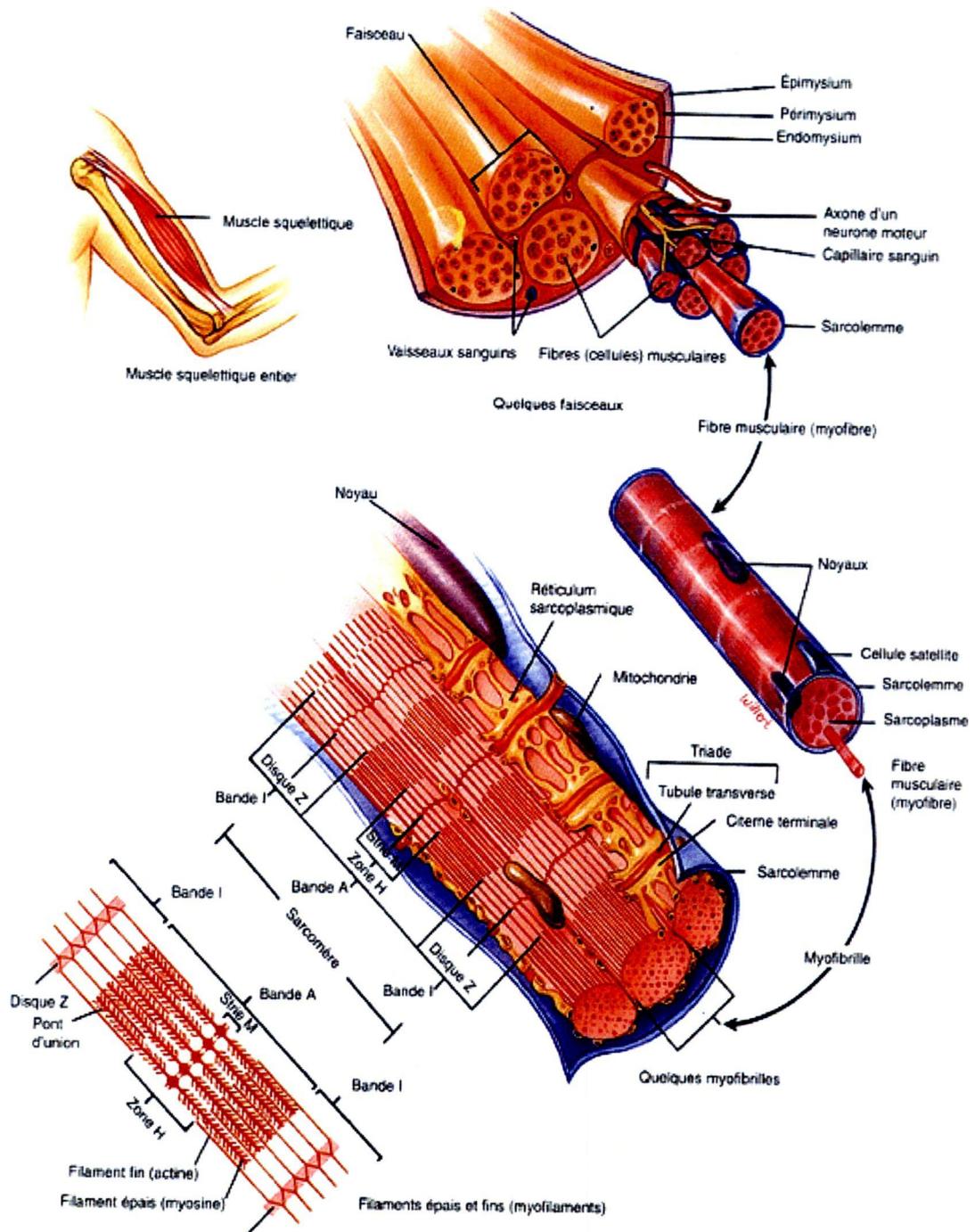


Figure 1.1 Anatomie du muscle squelettique au niveau macroscopique et microscopique

(Tortora et coll., 1994, tiré de Geoffrey, 2004)

Tableau 1.1 Nomenclature et caractéristiques des fibres musculaires chez le porc

Type contractile	Lent (β)		Rapide (α)	
	Oxydatif	Oxydo-glycolytique	Oxydo-glycolytique	Glycolytique
Type métabolique				
Classification	β R	α R		α W
	Type I	Type IIa	Type IIx	Type IIb
Type de myosine	I	IIa	IIx	IIb
Activité oxydative aérobie	++++	+++	++	+
Activité glycolitique	+	++	+++	++++
ATPase myofibrillaire	-	+	+	+
Diamètre	-	-	-	+
Teneur en myoglobine	+	+		-
Teneur en lipides	+	+		-
Teneur en glycogène	-	+		+

(Adapté de Gondret et Bonneau, 1998 et Lebreton et coll., 1999)

+ : élevé; - : faible

CHAPITRE 2 : EFFET DE LA VITESSE DE CROISSANCE, DU POIDS D'ABATTAGE ET DES SEXES SUR LA QUALITE ET LES PROPRIETES METABOLIQUES DE LA VIANDE DE PORCS

2.1 Résumé

L'objectif du projet était d'évaluer l'effet du poids d'abattage (PA), de la vitesse de croissance (VC) et des sexes sur la qualité du *longissimus dorsi* du porc et d'en établir la relation avec certains aspects du métabolisme musculaire. Pour réaliser l'étude, 118 porcs commerciaux ont été regroupés selon deux VC, rapide (Indice de potentiel génétique moyens des pères de -7 jours) et lente (Indice de potentiel génétique moyens des pères de + 2 jours), trois PA (107 kg, 115 kg, 125 kg) et deux sexes (castrats et femelles). Les mesures de qualité physico-chimiques, d'activités enzymatiques énergétiques (citrate synthase et lactate déshydrogénase) et protéolytique (calpaïnes), ainsi que le profil histochimique et immunohistochimique du muscle ont été effectuées sur le *longissimus dorsi*. Les caractéristiques sensorielles de la viande, flaveur, tendreté et jutosité, ont également été évaluées. Le PA et la VC n'ont pas influencé les principales mesures de qualité telles que la couleur, le pH du muscle, 48 heures après l'abattage, les forces de cisaillement, l'indice de fragmentation myofibrillaire, la solubilité des protéines et la teneur en myoglobine. Les femelles ont montré des pertes en eau plus élevées et un pH_u plus faible que les castrats. Par contre, une VC plus rapide a entraîné une augmentation du pourcentage de fibres de type I ainsi qu'une diminution de la taille de ces mêmes fibres. L'augmentation du poids d'abattage a favorisé l'activité de la citrate synthase et de la lactate déshydrogénase. Les femelles ont présenté un potentiel glycolytique plus élevé, une valeur de pH_u inférieure et une plus grande perte en eau que les castrats. Malgré certains effets observés sur l'activité métabolique et les caractéristiques histochimiques du muscle, les effets des traitements sur la qualité de la viande sont très limités.

2.2 Introduction

En Amérique du Nord, le Québec est l'un des endroits où le poids d'abattage des porcs est le plus léger. Récemment, les demandes des marchés ont forcé la filière porcine à envisager l'augmentation du poids d'abattage des porcs. Afin de contrebalancer la durée d'engraissement prolongé pour l'atteinte de poids d'abattage plus lourds, l'industrie compte mettre l'emphase sur une sélection pour l'amélioration du gain moyen quotidien. Dans cette optique, il est primordial de bien visualiser le comportement métabolique musculaire pour ne pas engendrer de variations pouvant se répercuter sur la qualité subséquente de la viande.

Les variations de poids d'abattage sont connues pour avoir des effets sur les différents aspects des composantes métaboliques du *longissimus dorsi* (Lefaucheur et Vigneron, 1986 ; Candek-Potokar et coll., 1999). Des études portant sur les effets de la sélection pour le gain moyen quotidien ont également montré des modifications des composantes musculaires (Dweyer et coll., 1993 ; Oksbjerg et coll., 2000 ; Kristensen et coll., 2002 ; Rehfeldt et coll., 2004). Entre autres, Larzul et coll. (1997) et Rehfeldt et coll. (2004) ont montré qu'il existe des différences notables pour ce qui est de la structure musculaire du *longissimus dorsi* entre les castrats et les femelles. Pour ces raisons, une étude a été entreprise afin de bien connaître les variations métaboliques engendrées par l'augmentation du poids d'abattage et de la vitesse de croissance. L'effet des sexes a aussi été évalué.

Rivest et coll. (2006) et Correa et coll. (2006) ont étudié l'impact de l'augmentation du poids d'abattage, de la vitesse de croissance et du sexe sur le rendement de la carcasse, la qualité de la viande ainsi que les critères économiques et zootechniques. L'objectif de la présente étude, qui complète les deux précédentes, est de montrer que l'augmentation du poids d'abattage, que la variation de la vitesse de croissance et le sexe, ainsi que leurs interactions ne causent pas de variations pour ce qui est du métabolisme musculaire susceptibles d'occasionner des modifications de la qualité de la viande.

2.3 Matériel et méthodes

Les porcs utilisés dans l'expérience provenaient du croisement de femelles Yorkshire X Landrace et de verrats Duroc. Ces verrats représentaient deux groupes homogènes pour la vitesse de croissance, de 14 verrats par groupe, dont un avec une moyenne d'indice de potentiel génétique (IPG) âge à 100 kg de - 7 jours et l'autre avec un IPG âge à 100 kg de + 2 jours. L'IPG gras dorsal à 100 kg est de valeur semblable pour l'ensemble des verrats des deux groupes. Les inséminations ont été effectuées sur différentes fermes de type commercial. À partir de chacune des portées, quatre porcelets (deux mâles castrats et deux femelles) ont été sélectionnés pour participer au projet, c'est-à-dire un total de 340 porcs. Les animaux sélectionnés ont été amenés à la station expérimentale de Deschambault, Québec, pour la période de pouponnière et d'engraissement. Durant la période d'engraissement, les porcs ont été divisés aléatoirement en trois groupes de poids d'abattage, 107 kg, 115 kg et 125 kg. À l'intérieur de ces groupes se retrouvaient un nombre équivalent de mâles et de femelles, ainsi qu'une distribution homogène des animaux en fonction des vitesses de croissance. L'allotement des porcs a été fait dans 28 parcs d'engraissement munis d'un système d'alimentation automatique et individuel, de type Insentec. L'alimentation a été formulée afin de ne pas limiter la croissance et le dépôt protéique des porcs. Les animaux ont été pesés régulièrement tout au long de la période de croissance. Ceci a permis de relativement bien

respecter le poids d'abattage attribué aux différents groupes. Les poids réels obtenus sont les suivants : $108,8 \pm 2,93$ kg, $115,6 \pm 2,29$ kg et $124,3 \pm 3,23$ kg. Sur l'ensemble des porcs abattus, 119 porcs ont été sélectionnés aléatoirement de façon à retrouver un nombre équivalent d'animaux dans chacune des classes de poids d'abattage, de vitesse de croissance et de sexe. L'abattage a été effectué dans un établissement commercial selon les procédures établies. Avant d'être abattus, les porcs ont subi un jeûne moyen de 18 heures et 50 minutes. Un repos de trois heures en abattoir a été respecté avant l'abattage des animaux.

Immédiatement après l'abattage, un échantillon cylindrique de muscle a été prélevé au site de sélection soit entre la troisième et quatrième vertèbre pour le dosage de l'activité enzymatique des enzymes du système calpaïnes/calpastatine, de la citrate synthase, de la lactate déshydrogenase et pour l'analyse histochimique. L'échantillon pour l'activité enzymatique a été congelé dans l'azote liquide et celui destiné à l'analyse des fibres musculaires, dans l'isopentane à -20°C . Les échantillons utilisés pour la teneur en myoglobine, l'indice de fragmentation myofibrillaire et la solubilité des protéines ont été prélevés 24 heures plus tard sur la longe de la partie gauche de l'animal. Les échantillons ont tous été conservés à -80°C jusqu'au moment des analyses. Pour l'analyse sensorielle et pour les forces de cisaillement, la longe droite a été prélevée après 24 heures de maturation sur la carcasse puis congelée et conservée à -20°C jusqu'au moment de l'analyse.

Les méthodologies suivies pour les analyses de pH, de couleur et de rétention en eau sont décrites dans l'article de Correa et coll. (2006).

2.3.1 Analyse biochimique de la viande

Pour l'analyse de l'activité des enzymes du métabolisme énergétique, de la citrate synthase, selon la méthode de Srere (1969) et de la lactate déshydrogenase, selon la méthode de Bass et coll. (1969). Un échantillon de poids connu, d'environ 1 g, a été broyé à l'aide d'un appareil polytron à vitesse maximale, dans une solution d'extraction contenant 63 mM de glycylglycine, 0,5 mM de saccharose, 6,2 mM d'EDTA, 125 mM de NaF et 5 mM de dithiothreitol. L'homogénat a reposé 1 heure sur la glace et a été agité fréquemment pour disperser la mousse. Pour le dosage de l'activité de la citrate synthase, une partie de l'homogénat a été diluée à un ratio de 1 :21, dans une solution physiologique enrichie de 0,15 % de BSA. Dans une cuvette de spectrophométrie, 0,5 ml de la solution diluée, 3 ml de solution tampon de 0,1 M de tris et 2,5 mM d'EDTA (pH 8,1), 0,1 ml d'acétyl-CoA (1 g/L) et 0,1 ml de DTNB (1 mM) ont été ajoutés. Dès l'atteinte d'une température constante de 30°C , 0,1 ml d'oxalo-acétate (10 mM) a été ajouté pour démarrer la réaction. L'absorbance a été mesurée pendant 5 minutes à 412 nm. Pour le dosage de la lactate

déshydrogenase, l'homogénat a été dilué à 1/441 dans une solution physiologique enrichie de 0,15 % de BSA. Dans une cuvette de spectrophotométrie, 3 ml de solution tampon (pH 7,6) contenant 0,1 M de triéthanolamine, 5 mM d'EDTA et 2 g/l de $MgCl_2$ ont été mélangés à 0,1 ml de la dilution. Des réactifs, NADH à 0,2 g/L et pyruvate de Na à 2,5 mM, ont été ajoutés à l'échantillon pour déclencher la réaction. L'absorbance a été mesurée à 340 nm durant 5 minutes. L'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine a été mesurée selon la procédure de Koohmaraie (1990). Les échantillons employés pour déterminer l'activité des enzymes du système calpaïne ont été en nombre plus restreint, soit 49 individus.

Le potentiel glycolytique a été mesuré selon la méthode de Monin et Sellier (1985). Pour la teneur en myoglobine, un échantillon de poids connu a été homogénéisé dans 30 ml de tampon phosphate (40 mM ; pH 6,5). L'homogénat a été filtré sur du papier filtre #1. Une quantité de 4 ml du filtrat a été récupérée et 1,4 ml de Triton X-100 à 10 % et 100 μ l de sodium nitrite à 65 mM ont été ajoutés. Après un repos d'une heure, deux mesures d'absorbance ont été effectuées, une à 409 nm et l'autre 730 nm. La teneur en pigment a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en pigment (mg/g)} = (A_{409} - A_{730} * 2,68) * d * 17500 / MAC_{79,6 \text{ mM}} * 1000$$

où, A_{409} est la mesure de l'absorbance à 409 nm, A_{730} , la mesure de l'absorbance à 730 nm, d, un facteur de dilution de 14,78 et $MAC_{79,60}$, une constante de 79,6 nm.

Les analyses histochimiques ont été effectuées à partir de morceaux de muscle coupés en forme rectangulaire, d'environ 5 mm par 5 mm et de longueur variable, avec les fibres orientées dans le sens de la longueur du rectangle. À l'aide d'un cryostat, des coupes sériées ont été effectuées pour chacun des animaux. L'activité de la succinate déshydrogénase a été déterminée suite à une coloration (Nachlas et coll., 1956). Les lames ont d'abord incubées 1 heure à 37°C, puis recouvertes d'une solution contenant 5 ml de succinate à 100 mM, 5 ml de NBT et 5 μ l de meldolabla à 10,2 mM. Les lames ont ensuite été rincées rapidement avec une solution de saline à 0,9 % puis incubées 10 minutes à la température de la pièce dans une solution de fixation constituée de 2 % de formaldéhyde et de 0,9 % (m/v) de NaCl. Un premier rinçage a été effectué dans de l'eau distillée durant 3 à 5 minutes suivi d'un deuxième rinçage dans une série de bains : un premier bain contenant une solution à 80 % d'éthanol, un deuxième à 90 % éthanol, un troisième à 95 % éthanol, un quatrième avec une solution 3:1 éthanol:xylène, un autre 1:1 et finalement un dernier exclusivement avec du xylène. Les lames ont été montées pour les analyses microscopiques.

L'analyse histochimique a été effectuée sur des lames colorées pour l'analyse de la concentration en ATP avec pré-incubation basique (Brooke et Kaiser, 1970). Pour la coloration, les lames

préalablement préparées ont été immergées dans une solution à 2 % (v/v) de formaldéhyde et à 1 % (m/v) de CaCl_2 durant 5 minutes à la température de la pièce. Elles ont ensuite été rincées, deux fois pendant une minute, dans une solution de tris-HCl à 0,1 M et de CaCl_2 à 0,18 M (pH 7,8). La pré-incubation alcaline a été effectuée durant 15 minutes à la température de la pièce avec une solution alcaline constituée de 1 % d'une solution de 2-amino 2-méthyl 1-propanol et de 0,4 % de CaCl_2 avec un pH de 10,4 ajusté avec du HCl. Un second rinçage équivalent à celui mentionné précédemment a été effectué. Les lames ont été incubées durant 45 minutes à 37 °C dans une solution composée de 0,0942 % d'une solution de base de 2-amino 2-méthyl 1-propanol, 0,05 % de CaCl_2 , 0,5 mM de KCl et de 0,0152 % (m/v) d'ATP avec un pH de 9,4 ajusté avec du HCl. Suite à l'incubation, les lames ont été rincées 3 fois 30 secondes dans une solution de CaCl_2 à 1 % puis incubées dans une solution de CoCl_2 à 2 % durant 3 minutes. Finalement, les lames ont été rincées à l'eau distillée pour enlever l'excédent de CoCl_2 et incubées dans une solution à 1 % d'ammonium de sulfide. Les étapes de montage et de rinçage des lames ont été identiques à celles mentionnées dans la procédure pour l'activité de la succinate déshydrogénase. Les colorations de la SDH et de l'ATPase ont servies à déterminer les types de fibres musculaires selon l'appellation des fibres du type I, IIa et IIb. Le nombre et l'aire de la surface de chacun des types de fibres ont également été analysés à partir de ces colorations.

Les isoformes de la myosine ont été quantifiés par coloration immunologique différentielle telle que décrite par Lefaucheur et Ecolan (1998). Par contre, seuls les anticorps 7D4 et 8H2 produits par la compagnie Biocytex à Marseille, en collaboration avec l'INRA, distribués par Agro-bio France, ont été utilisés. L'anticorps 7D4 réagit spécifiquement avec les isoformes de myosine IIa et IIX, tandis que le 8H2 réagit avec l'ensemble des myosines excluant la forme IIa. Les IIX sont obtenus par différence.

2.3.2 Analyse de la qualité de la viande

Différentes mesures de qualité de la viande ont été effectuées. Le pH_u , les pertes en eau et la couleur objective ont été mesurés 24 heures suivant l'abattage. Les détails de la méthodologie sont présentés dans Correa et coll. (2006). Le pH à 48 heures a également été mesuré sur les longes destinées à l'analyse sensorielle. La solubilité des protéines a été mesurée selon la méthode présentée par Xiong et coll. (1989).

La tendreté a été évaluée en laboratoire par la méthode de l'indice de fragmentation myofibrillaire et la force de cisaillement. L'indice de fragmentation myofibrillaire a été mesuré selon la méthode décrite par Hopkins et coll. (2000). La masse de l'échantillon employé a été de 1 g au lieu de 0,5 g, comme l'ont proposé ces auteurs. La méthode employée pour doser les protéines a été celle du

biuret. L'homogénéisation a été faite à l'aide d'une tige type « shaft » (PT-DA 3012/2TS, Inematica Switzerland). Le réactif biuret est composé de 1,5 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ et 6 g de $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 300 ml de NaOH à 10 % et complété à 1 L avec de l'eau bidistillée. Pour mesurer la concentration en protéines, 1 ml de l'homogénat a été dilué dans 4 ml de réactif de biuret et l'absorbance a été prise à 540 nm puis multipliée par un facteur de 150 pour l'obtention de l'indice.

Pour l'analyse sensorielle et les forces de cisaillement, les longes ayant mûri durant 6 jours à 4°C ont été décongelées, en petits groupes, à basse température (4°C) afin de minimiser les effets négatifs de la décongélation. Les longes ont été coupées en tranches de 2,5 cm puis mises sous vide dans des sacs à cuisson. Un thermocouple a été introduit dans chaque tranche, afin de suivre avec précision la température de la viande tout au long de la cuisson dans un autoclave réglé à 73°C. La cuisson a été arrêtée dès l'atteinte d'une température interne des échantillons de 66,5°C.

Les forces de cisaillement (FC) ont été mesurées la même journée que l'analyse sensorielle sur les échantillons cuits. La mesure a été effectuée à l'aide d'un texturomètre (TA-TX2, Texture Technologie corp., Scarsdale, New York) avec une guillotine de Warner-Bratzler. Pour déterminer de la tendreté par les forces de cisaillement, 12 morceaux de 1 cm² par 5 cm de long ont été taillés dans le sens de la fibre. La force nécessaire pour scinder les échantillons a été enregistrée par la cellule de charge de 5 kg installée sur l'appareil.

L'évaluation sensorielle a servi à mesurer la tendreté, la jutosité et la flaveur. L'évaluation sensorielle de la tendreté a été faite par un groupe de onze juges entraînés. L'évaluation a été faite avec un morceau de longe d'un centimètre cube. La fermeté a été évaluée par la pression nécessaire pour écraser le morceau entre les molaires et quantifiée selon une échelle de 0 à 15, où 0 est le plus tendre. La jutosité est la perception de la quantité de liquide qui s'écoule de l'échantillon après deux mastications. L'évaluation de la jutosité a été quantifiée selon une échelle de 0 à 15, où 0 est le moins juteux. La flaveur est l'évaluation combinée des saveurs perçues par les papilles gustatives et les stimulations olfactives perçues lors de la mastication. La flaveur a été quantifiée selon une échelle de 0 à 7, où 0 représente l'absence de flaveur.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED du logiciel SAS (SAS, 2000). L'analyse de la variance a été effectuée sur le poids d'abattage, la vitesse de croissance et le sexe comme étant les effets principaux. Des corrélations ont été effectuées entre les différents paramètres étudiés. Les différences ont été considérées statistiquement différentes lorsque que $p \leq 0,05$.

2.4 Résultats

Les résultats des analyses histochimiques et immunohistochimiques en fonction des différents traitements pour le *longissimus dorsi* sont présentés au Tableau 2.1. Quatorze animaux ont été retirés de ces analyses à cause d'une mauvaise fixation des tissus lors de l'échantillonnage. Le Tableau 2.2 présente des corrélations concernant les caractéristiques histochimiques et le poids de la carcasse ainsi que le gain moyen quotidien. La surface relative associée aux fibres de type I et IIb a varié uniquement pour les sexes. Les résultats de l'analyse montrent que les femelles ont eu une surface relative associée aux fibres de type I inférieure ($p < 0,01$) ainsi qu'une surface relative pour les fibres IIb supérieure ($p = 0,01$) en comparaison aux castrats. Seule l'interaction poids d'abattage et vitesse de croissance s'est avérée significative pour la surface relative des fibres de type IIa ($p = 0,02$) (Figure 2.1). La surface relative des fibres de type IIa a augmenté avec l'augmentation du poids d'abattage de 107 à 125 kg chez les animaux à vitesse de croissance rapide et a diminué chez ceux à vitesse de croissance lente.

Les résultats de l'analyse histochimique classique ont différé selon les différentes vitesses de croissance, mais n'ont pas significativement varié avec l'augmentation du poids d'abattage ni les sexes (Tableau 2.1). Les animaux à vitesse de croissance rapide ont montré un pourcentage plus élevé de fibres de type I ($p = 0,02$) comparativement aux animaux à vitesse de croissance lente. Le pourcentage de fibres de type IIa a augmenté chez les animaux à vitesse de croissance rapide et a diminué chez ceux à vitesse de croissance lente avec l'augmentation du poids d'abattage (Figure 2.2). Les femelles à vitesse de croissance lente ont eu un pourcentage de fibres de type IIb supérieur aux femelles à vitesse de croissance rapide et aux castrats (Figure 2.3). Ces effets sont appuyés par une corrélation positive entre le gain moyen quotidien et le pourcentage de fibres de type I ($r = 0,29$, $p < 0,01$) et une corrélation négative avec le pourcentage de fibres de type IIb ($r = -0,31$, $p < 0,01$) (Tableau 2.2). Le pourcentage de chaque type de fibres évalué par immunohistochimie n'a pas été influencé par l'augmentation du poids d'abattage, la vitesse de croissance et les sexes (Tableau 2.1).

Le nombre total de fibres n'a pas été influencé par l'augmentation du poids d'abattage, ni par le gain moyen quotidien et les sexes ($p > 0,05$) (Tableau 2.1). L'augmentation du poids d'abattage a occasionné une augmentation de la taille des fibres musculaires. La taille moyenne des fibres (tous types confondus) ($p < 0,01$) ainsi que celles des fibres de type I ($p < 0,01$) et de type IIb ($p = 0,03$) ont été plus élevées chez les porcs abattus à 125 kg comparativement à ceux abattus à 107 kg. Les résultats d'analyse de la taille des fibres de type IIa ont montré une tendance ($p = 0,07$) pour une augmentation de leur taille en fonction des différents poids d'abattage. Le tableau 2.2 présente des corrélations positives entre le poids de la carcasse avec la taille moyenne des fibres ($r = 0,30$; $p < 0,01$) et la taille des fibres de type I ($r = 0,30$; $p < 0,01$), IIa ($r = 0,25$; $p < 0,01$) et IIb ($r = 0,24$;

$p = 0,01$). Les sexes n'ont pas eu d'effet significatif sur la taille moyenne des fibres et la taille de chaque type de fibres ($p > 0,05$). La taille moyenne des fibres et la taille des fibres de type IIa et IIb n'ont pas été influencées par la vitesse de croissance (Tableau 2.1). Les animaux avec une vitesse de croissance rapide ont eu une taille des fibres de type I inférieure à celle des animaux avec une vitesse de croissance lente ($p = 0,03$). Une corrélation négative a été obtenue entre le gain moyen quotidien et la taille moyenne des fibres ($r = -0,23$; $p = 0,01$) (Tableau 2.2).

Les résultats des analyses biochimiques du *longissimus dorsi* en fonction des différents traitements sont présentés au Tableau 2.3. L'augmentation du poids d'abattage a engendré une augmentation de l'activité de la CS ($p = 0,02$). Ceci est appuyé par une corrélation positive entre l'activité de la CS avec le poids de la carcasse ($r = 0,19$, $p = 0,03$) (Tableau 2.4). La vitesse de croissance et le sexe n'ont eu aucun effet significatif sur l'activité de la CS. Néanmoins, une corrélation négative a été obtenue entre le gain moyen quotidien et l'activité de la CS ($r = -0,28$, $p < 0,01$). L'activité de la LDH a été influencée par l'interaction entre le poids d'abattage, la vitesse de croissance et les sexes ($p = 0,04$) (Figure 2.4). Chez les femelles à vitesse de croissance lente, l'activité de la LDH a augmenté avec l'augmentation du poids d'abattage de 107 à 115 kg. Chez les castrats à vitesse de croissance rapide, l'augmentation de l'activité s'est produite avec l'augmentation du poids d'abattage de 107 à 125 kg. L'activité de la LDH a été corrélée positivement avec le poids de la carcasse ($r = 0,27$, $p < 0,01$) et négativement avec le gain moyen quotidien ($r = -0,31$, $p < 0,01$) (Tableau 2.4). L'analyse du ratio LDH/CS a présenté une interaction significative entre la vitesse de croissance et le sexe (Figure 2.5). Les castrats à vitesse de croissance lente ont eu un ratio LDH/CS plus faible que ceux à vitesse de croissance rapide et les femelles à vitesse de croissance lente.

L'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine en fonction des traitements est présentée au Tableau 2.3. L'augmentation du poids d'abattage n'a pas eu d'effet significatif sur l'activité de la μ -calpaïne, l'activité de la m-calpaïne et le ratio μ -calpaïne/calpastatine. L'activité de la calpastatine et le ratio (μ -calpaïne+m-calpaïne)/calpastatine, ou potentiel protéolytique (PP), ont été significativement influencés par les différents poids d'abattage. Les porcs abattus à 125 kg ont obtenu une activité de la calpastatine supérieure ($p = 0,01$) et un PP inférieur ($p = 0,02$) à ceux abattus à 115 kg. La vitesse de croissance et les sexes n'ont pas eu d'effet significatif sur l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine ni sur leur ratios.

Le PG n'a pas été influencé par le poids d'abattage et la vitesse de croissance (Tableau 2.3). Toutefois, une corrélation négative ($r = -0,21$, $p = 0,03$) entre le gain moyen quotidien et le PG a été obtenue (Tableau 2.5). Les femelles ont obtenu une valeur de PG supérieure en comparaison aux castrats ($p < 0,01$) (Tableau 2.3). Les corrélations entre les caractéristiques histochimiques et immunologiques des fibres et le PG sont présentées au Tableau 2.5. Aucune corrélation

significative n'a été observée entre le PG et le pourcentage et la taille de chaque type de fibres. Seul le pourcentage de l'isoforme IIa a été corrélé significativement avec le PG ($r = 0,27$, $p = 0,04$). Des corrélations négatives ont été obtenues entre le PG avec le pH_u et le pH 48 heures ($r = -0,54$, $p < 0,01$ et $r = -0,57$, $p < 0,01$, respectivement). La teneur en myoglobine n'a pas été influencée significativement par les différents traitements (Tableau 2.3).

Les résultats des mesures de qualité, telles le pH_u , la couleur et les pertes en eau, sont présentés dans le travail de Correa et coll. (2006). Ces mesures n'ont pas été influencées significativement par les différents traitements, sauf pour la valeur a^* de la couleur qui a été plus élevée chez les animaux de 125 kg. Le Tableau 2.6 présente les résultats des analyses effectuées dans la présente étude concernant la qualité physico-chimique et sensorielle du *longissimus dorsi*. La mesure du pH à 48 heures n'a pas été affectée significativement par les différents traitements. Des corrélations négatives entre le pH_u et le pH 48 heures et les caractéristiques de la qualité confirment l'effet négatif du pH sur la couleur, les pertes en eau et la solubilité des protéines (Tableau 2.7). Des corrélations significatives ont été obtenues entre la taille et le pourcentage des différents types de fibres avec les paramètres de la couleur. Le Tableau 2.8 présente des corrélations entre les caractéristiques histochimiques et immunologiques des fibres et les valeurs de pH. Une corrélation négative significative ($r = -0,24$, $p = 0,04$) a été observée entre le pourcentage de l'isoforme IIa et la valeur de pH_u ainsi qu'une corrélation positive entre la taille des fibres de type I et le pH 48 heures ($r = 0,38$, $p < 0,01$). La solubilité des protéines sarcoplasmiques, myofibrillaires, sarcoplasmiques précipitées sur les myofibrillaires ainsi que la solubilité totale n'ont pas été influencées par les traitements (Tableau 2.6).

Les traitements à l'étude n'ont pas eu d'effet significatif sur les FC, l'IFM, l'analyse sensorielle de la tendreté et la jutosité (Tableau 2.6). Le Tableau 2.9 montre les corrélations obtenues entre l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine et les différentes mesures de la tendreté. Le Tableau 2.10 présente des corrélations entre la taille des fibres, la teneur en collagène soluble et le persillage et les différentes mesures de la tendreté. La taille des fibres de types IIa est corrélée avec les FC et la mesure de l'analyse de sensorielle de la tendreté (respectivement, $r = 0,24$, $p = 0,01$ et $r = 0,23$, $p = 0,02$). Une interaction triple significative a été obtenue pour la saveur perçue par les panélistes ayant été plus prononcée pour les femelles à vitesse de croissance rapide de 125 kg (Figure 2.6).

2.5 Discussion

2.5.1 Effet de l'augmentation du poids d'abattage

2.5.1.1 *Histochimie*

L'augmentation du poids d'abattage s'accompagne d'une augmentation de la taille moyenne des fibres musculaires qui composent le *longissimus dorsi* (Tableau 2.1). Ceci est consistant avec ce qu'ont montré Lefaucheur et Vigneron (1986) et Candek-Potokar et coll. (1999). Cet accroissement de la taille moyenne des fibres musculaires est appuyé par la corrélation positive avec le poids de la carcasse (Tableau 2.2). Cette corrélation découle probablement de l'allométrie de la croissance musculaire et plus particulièrement celle du *longissimus dorsi*. Chez le porc, le *longissimus dorsi* est un muscle à croissance rapide. Lors de la l'augmentation du poids de la carcasse, la masse de ce muscle va augmenter rapidement. Comme l'ont mentionné Lefaucheur et Vigneron (1986) et Candek-Potokar et coll. (1999), l'augmentation de la taille des fibres s'est répercutée plus spécifiquement sur les fibres de type I et IIb (Tableau 2.1). Lefaucheur et Vigneron (1986) mentionnent que l'absence d'effet sur la taille des fibres IIa peut s'expliquer par la dilution mitochondriale que les fibres IIa ont subie lors de l'augmentation de leur taille. La réduction de la concentration de ces organelles cellulaires pour les fibres musculaires de type IIa ayant une forte taille a occasionné la transition de ces dernières vers les fibres de type IIb dont la proportion en mitochondries est plus faible.

Les différents poids d'abattage n'ont pas eu d'effet sur la surface relative occupée par les fibres de type I et IIb, le pourcentage de ces fibres déterminé par histochimie classique ainsi que le pourcentage des fibres de type I, IIa et IIb déterminé par immunohistochimie (Tableau 2.1). Candek-Potokar et coll. (1999). Eggert et coll. (2002) n'ont également pas observé de différence entre la proportion des isoformes de types I et II pour des poids d'abattage de 120 et 135 kg. Néanmoins, le pourcentage déterminé par histochimie classique et la surface relative des fibres de type IIa ont été supérieurs chez les animaux de 125 kg à vitesse de croissance rapide comparativement à ceux du même poids, mais à vitesse de croissance lente (Figures 2.1 et 2.2).

2.5.1.2 *Analyses biochimiques*

L'activité des enzymes des métabolismes énergétiques a augmenté avec l'augmentation du poids d'abattage de 107 à 125 kg (Tableau 2.3 ; Figure 2.4). Ces résultats sont consistants avec ceux de par Lefaucheur et Vigneron (1986) pour des poids d'abattage allant jusqu'à 120 kg. Ces auteurs ont rapporté que l'activité métabolique augmente tout au long de la croissance de l'animal et que

l'augmentation de l'activité de la LDH est plus importante que celle du métabolisme oxydatif. L'augmentation plus forte de la LDH correspond à la dominance glycolytique du *longissimus dorsi* du porc. L'augmentation de l'activité de la CS, moins prononcée, montre la perte de capacité oxydative au détriment du métabolisme glycolytique. Les activités de ces deux enzymes sont corrélées positivement entre elles ainsi qu'avec le poids d'abattage (Tableau 2.4). Une corrélation positive a été obtenue entre le PG et l'activité de la CS (Tableau 2.4), ainsi que le pourcentage de l'isoforme de type IIa (Tableau 2.5). Cette information est appuyée par Larzul et coll. (1998) et Lebret et coll. (1999) qui ont lié le PG à une activité oxydative plus importante. Même si l'augmentation du poids d'abattage a engendré une augmentation de l'activité de la CS, le PG n'a pas augmenté (Tableau 2.3). Huff-Lonergan et coll. (2002) ont montré une corrélation positive entre le poids d'abattage et la mesure du PG. Dans la présente étude, aucune corrélation significative n'a été établie entre le poids d'abattage et les valeurs de PG (Tableau 2.5).

Le poids d'abattage n'a pas eu d'effet significatif sur l'activité de la μ -calpaïne, de la m-calpaïne et sur le ratio μ -calpaïne/calpastatine (Tableau 2.3). L'activité de la calpastatine chez les animaux abattus à 125 kg était supérieure à celle des animaux abattus à 115 kg. Cet effet s'est répercuté sur le ratio (μ -calpaïne+m-calpaïne)/calpastatine qui a été plus faible chez les animaux de 125 kg comparativement à ceux de 115 kg. Aucune recherche effectuée chez le porc ne traite de l'effet de l'augmentation du poids d'abattage sur l'expression des enzymes du système calpaïque. Par contre, chez l'agneau, Veiseth et coll. (2004) ont montré que l'activité de la calpastatine et celle de la m-calpaïne dans le *longissimus dorsi* diminuent avec l'âge, tandis que l'activité de la μ -calpaïne augmente entre 4 et 6 mois, et diminue par la suite.

L'absence de variation de la teneur en myoglobine pour les différents poids d'abattage est consistante avec les observations faites par Latorre et coll. (2004) pour des poids d'abattage de 116 et 124 kg (Tableau 2.3). Latorre et coll. (2004) ont toutefois montré que la teneur en myoglobine augmentait significativement au-delà de 125 kg, soit pour un poids de 133 kg.

2.5.1.3 Qualité de la viande

L'augmentation du poids d'abattage n'a pas affecté le pH_u (24 heures), ni le pH 48 heures (Correa et coll., 2006 ; Tableau 2.6). Ceci est consistant avec l'information mentionnée par Sutton et coll. (1997), Candek-Potokar et coll. (1998) et Latorre et coll. (2004). Par contre, Eggert et coll. (2002) ont observé une augmentation de la valeur du pH_u pour les porcs abattus à 135 kg en comparaison à ceux dont le poids d'abattage était de 120 kg. À l'inverse, Cisneros et coll. (1996) ont montré que l'augmentation du poids d'abattage jusqu'à 160 kg entraîne une diminution de la valeur de pH_u .

La valeur de la composante a^* de la couleur a augmenté pour les animaux abattus à 125 kg (Correa et coll., 2006). Dans l'étude de Latorre et coll. (2004), la valeur a^* augmente pour les animaux abattus à 133 kg, et non pour ceux abattus à 124 kg. L'augmentation de la valeur de a^* ne s'explique pas par une augmentation de la teneur en myoglobine, ni par des variations de solubilité des protéines ou par des variations de pH pour les animaux de 125 kg. Le pourcentage de fibres de type I et IIa est cependant positivement corrélé avec la valeur a^* tandis que le pourcentage de fibres de type IIb l'est négativement (Tableau 2.7). Les caractéristiques de la couleur objective L^* et b^* et la couleur évaluée selon la méthode subjective n'ont pas été influencées par les différents poids d'abattage (Correa et coll., 2006). Les résultats pour la valeur de L^* et de b^* sont consistants avec de Sutton et coll. (1997), de Candek-Potokar et coll. (1998), d'Eggert et coll. (2002) et ceux de Latorre et coll. (2004) pour la valeur de b^* . Latorre et coll. (2004) ont montré une diminution de la valeur de L^* pour les animaux abattus à 124 kg et 133 kg en comparaison à ceux abattus à 116 kg. Eggert et coll. (2002) n'ont montré aucune variation de la couleur lorsqu'évaluée de façon subjective, tandis que Cisneros et coll. (1996) ont trouvé que les porcs de 160 kg ont une diminution de l'intensité de la couleur subjective.

En accord avec les résultats de Sutton et coll. (1997), Candek-Potokar et coll. (1998) et Eggert et coll. (2002), les différents poids d'abattage n'ont pas eu d'effet sur les pertes en eau (Correa et coll., 2006). Par contre, Cisneros et coll. (1996) ont montré que les porcs abattus de 160 kg ont des pertes en eau plus importantes que ceux de poids plus léger. La solubilité des protéines n'a pas été influencée par le poids d'abattage (Tableau 2.6). Les faibles valeurs de solubilité obtenues s'apparentent à celles trouvées chez les animaux ayant la caractéristique PSE, selon les travaux de Warner et coll. (1997) et Joo et coll. (1999). Dans le but de confirmer les résultats, une analyse supplémentaire de la solubilité des protéines totales a été effectuée. Les résultats de la deuxième analyse ont confirmé ceux de la première. Des résultats de même amplitude ont été rapportés chez le porc par Channon et coll. (2000). Dans cette étude, ils ont mesuré la solubilité de la fraction sarcoplasmique selon la méthode présentée par Warner et coll. (1997). La fraction myofibrillaire a été déterminée par différence entre la solubilité des protéines sarcoplasmiques et la solubilité totale mesurée. L'absence de variation du pH_u selon les poids d'abattage peut expliquer l'absence d'effet sur les pertes en eau et la solubilité des protéines. Une corrélation négative a été obtenue entre les pertes en eau et le pH_u (Tableau 2.7). Comme le mentionnent Offer (1991) et Joo et coll. (1999), la solubilité de protéines totales est positivement corrélée avec le pH_u . La solubilité de la fraction sarcoplasmique est également corrélée positivement avec le pH_u et les pertes en eau. Aucune corrélation significative n'a été obtenue entre la solubilité de la fraction myofibrillaire avec le pH_u et les pertes en eau, contrairement à ce qu'ont mentionné Joo et coll. (1999). Par contre, en accord avec Joo et coll. (1999), la fraction sarcoplasmique est corrélée négativement avec les pertes en eau et la composante L^* de la couleur objective.

L'absence de variation de la tendreté mesurée par les FC lors de l'augmentation du poids d'abattage est consistante avec ce qu'ont montré Cisneros et coll. (1996), Candek-Potokar et coll. (1998) et Eggert et coll. (2002) (Tableau 2.6). Dans ces études, la tendreté mesurée par l'analyse sensorielle diminue avec l'augmentation du poids d'abattage, mais cet effet n'a pas été significatif dans la présente étude. Moller (1981) a mentionné que la mesure des FC et la mesure de la tendreté effectuée par l'analyse sensorielle sont influencées par le collagène soluble, ainsi que par les myofibrilles. Aucune corrélation ne s'est avérée significative entre le collagène soluble et les mesures de la tendreté par les FC et par l'analyse sensorielle (Tableau 2.10). Les travaux de Correa et coll. (2006) ont montré que la mesure du collagène soluble est uniquement influencée par le poids d'abattage lorsque les animaux atteignent un poids de 125 kg et que les différentes vitesses de croissance ainsi que les sexes n'ont pas d'influence sur la teneur du collagène soluble.

Crouse et coll. (1997), Essen-Gustavsson et coll. (1992) et Lefaucheur (2001) ont mentionné que l'augmentation de la taille des fibres musculaires a une incidence négative sur la mesure de la tendreté. En accord avec ces auteurs, une corrélation positive a été obtenue entre la taille moyenne des fibres et la mesure des FC (Tableau 2.10). Malgré cette corrélation et l'augmentation de la taille des fibres mesurée pour les animaux de 125 kg, aucune variation significative de la mesure des FC n'a pas été obtenue. La taille des fibres de type IIa a été corrélée positivement avec les mesures des FC et de la tendreté par analyse sensorielle. Cette corrélation appuie les observations de Maltin et coll. (1997) qui ont obtenu une corrélation similaire.

Les résultats de l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine confirment l'absence de variation obtenue pour la mesure des FC et celle montrée pour l'IFM mesurés à 24 heures. Selon ce que mentionnent Candek-Potokar et coll. (1998), cette dernière mesure est un bon indicateur du taux de dégradation protéique engendré par l'activité protéolytique des enzymes du système calpaïnes/calpastatine. L'interprétation est appuyée par les travaux des Goll et coll. (1992 et 1998), Koohmaraie (1992, 1994, 1996 et 2002), Ouali (1992) et Dransfield (1993) qui ont montré que les enzymes du système calpaïnes/calpastatine sont impliquées dans le processus de maturation de la viande et se répercutent sur la tendreté. Les corrélations obtenues dans la présente étude confirment également les informations mentionnées par ces auteurs (Tableau 2.9). La diminution de la valeur du ratio PP n'a pas influencé les mesures des FC et celle de l'IFM. L'absence d'effet protéolytique du ratio PP confirme les travaux de Boehm et coll. (1998) qui ont montré que la m-calpaïne ne semble pas présenter d'activité protéolytique.

L'absence d'effet de l'augmentation du poids d'abattage sur la jutosité, montré par Cisneros et coll. (1996) et Candek-Potokar et coll. (1998), est appuyée par les résultats de la présente étude (Tableau 2.6). Candek-Potokar et coll. (1998) ont évalué l'intensité de la flaveur lors de

l'augmentation du poids d'abattage. Ils n'ont trouvé aucune variation significative de la flaveur en relation avec l'augmentation du poids d'abattage. Dans la présente étude, la flaveur a été uniquement plus élevée chez les femelles de 125 kg à vitesse de croissance rapide (Figure 2.6).

2.5.2 Effets vitesse de croissance

2.5.2.1 *Histochimie*

Conformément aux travaux de Brocks et coll. (1998 et 2000), et contrairement aux résultats d'Oksbjerg et coll. (2000), le pourcentage des fibres de type Ia a été plus élevé pour les animaux à vitesse de croissance lente (Tableau 2.1). Le pourcentage des fibres de type IIb a été plus élevé pour les femelles à vitesse de croissance lente (Figure 2.3). Ces résultats sont également appuyés par les corrélations entre le pourcentage des fibres de type I et IIb et le gain moyen quotidien (Tableau 2.2). Toutefois, l'analyse immunohistochimique n'a pas permis de montrer de différences pour le pourcentage des trois isoformes de type II chez les animaux à vitesse de croissance rapide et lente. Ceci ne contredit pas les résultats de l'histochimie classique, car les deux techniques d'analyse ne sont pas basées sur les mêmes caractéristiques des fibres musculaires. Quant au nombre total de fibres, aucun effet de la vitesse de croissance n'a été obtenu. Dwyer et coll. (1993), dans une étude portant sur le *semitendinosus*, ont montré que les porcs ayant un meilleur gain moyen quotidien sont caractérisés par un nombre plus élevé de fibres musculaires.

Comparativement aux animaux à vitesse de croissance lente, les animaux à vitesse de croissance rapide ont des fibres de type I de taille inférieure (Tableau 2.1). La réduction de la taille des fibres de type I ne s'est pas répercutée sur la taille moyenne de l'ensemble des fibres, malgré la corrélation négative trouvée entre la taille moyenne des fibres et le gain moyen quotidien (Tableau 2.2). Ces résultats sont contraires à ceux de Larzul et coll. (1997). Dans leur étude, la taille des fibres était corrélée positivement avec le gain moyen quotidien. Bien que l'étude de Larzul et coll. (1997) présente des corrélations en fonction des variations de gain quotidien en relation avec des résultats histochimiques, il n'est pas question de lignées sélectionnées sur le gain moyen quotidien, mais d'une lignée sélectionnée pour le PG et d'une autre lignée témoin. Donc, ils ont mesuré des différences entre groupes et non pas un effet associé à une sélection. Par contre, dans une étude d'Oksbjerg et coll. (2000), suite à une sélection sur la vitesse de croissance en fonction du gain quotidien pendant vingt années, les animaux ayant une vitesse de croissance rapide ont montré des fibres de plus petit diamètre pour une même surface d'oeil de longe. Les travaux de Brocks et coll. (1998 et 2000) ont également fait état de variations histochimiques du *longissimus dorsi* suite à une sélection sur le gain moyen quotidien. Dans leur étude, ils ont montré une augmentation de la taille des fibres, entre les deux générations étudiées. Ils ont abattu les animaux

en fonction d'un âge fixe pour les différentes générations étudiées. Donc les animaux de la quatrième génération ont été abattus à un poids plus élevé que ceux de la deuxième, alors un effet poids a été obtenu pour la taille des différentes fibres mesurées. Les résultats d'une sélection sur la quatrième génération en fonction de la deuxième ont montré une augmentation du pourcentage des fibres de type I et une diminution de celle du type IIb.

2.5.2.2 Enzymes métaboliques

L'activité de la CS n'a pas été influencée significativement par la vitesse de croissance (Tableau 2.3). Pour le poids d'abattage de 115 kg, l'activité de la LDH a été supérieure chez les femelles à vitesse de croissance lente comparativement à celles à vitesse de croissance rapide et aux castrats (Figure 2.4). En accord avec les travaux d'Oksbjerg et coll. (2000), des corrélations négatives ont été obtenues entre l'activité de la LDH et celle de la CS et le gain moyen quotidien (Tableau 2.4). Selon Oksbjerg et coll. (2000), les animaux soumis à une sélection visant à améliorer le gain moyen quotidien voient leur capacité énergétique, tant anaérobie qu'aérobie, diminuée face à l'effort. Par contre, Henckel et coll. (1997) n'ont pas montré de corrélation entre le gain moyen quotidien et l'activité des enzymes métaboliques dans le *longissimus dorsi*. Les différences de performances de croissance obtenues dans leur étude sont attribuables aux différences entre les races, Landrace et Large White, et aux variations intra population, et non pas à un effet de sélection.

La valeur de PG n'a pas été influencée par la vitesse de croissance, mais une corrélation négative entre le PG et le gain moyen quotidien a été obtenue (Tableaux 2.3 et 2.5). Oksbjerg et coll. (2000) n'ont pas observé de différences pour ce qui est de la teneur en glucose résiduel chez les porcs selon les performances de croissance. Hamilton et coll. (2003) n'ont pas obtenu de corrélation significative entre le gain moyen quotidien de porcs et la valeur de PG.

La vitesse de croissance n'a pas eu d'effet sur l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine ni sur leurs ratios (Tableau 2.3). Kristensen et coll. (2002) ont montré que l'augmentation de la vitesse de croissance (croissance compensatoire) des porcs engendre des activités de la μ -calpaïne et de la m-calpaïne plus élevée. L'activité de la calpastatine n'est cependant pas modifiée. Selon ce que mentionnent Mozdziaik et coll. (2003), pour soutenir la croissance musculaire, il doit y avoir une accumulation d'ADN. Cette accumulation d'ADN se fait par l'incorporation des cellules satellites par les fibres musculaires. Les travaux de Cottin et coll. (1994) et ceux de Temm-Grove et coll. (1999) ont montré l'implication des calpaïnes dans le processus de la croissance musculaire, en ayant un effet sur l'activité des cellules satellites. Comme il a été mentionné précédemment, l'action protéolytique des calpaïnes ne consiste pas à désintégrer la totalité des protéines musculaires, mais à une action très spécifique. Comme l'ont

mentionné Temm-Grove et coll. (1999), elles jouent un rôle dans le remodelage des structures protéiques qui composent le muscle.

Contrairement aux observations d'Oksbjerg et coll. (2000), la teneur en myoglobine dans la présente étude n'a pas été affectée par la vitesse de croissance (Tableau 2.3). Oksbjerg et coll. (2000) ont montré que les effets de la sélection sur le gain moyen quotidien causent une diminution de la teneur en myoglobine. Comme il a été mentionné précédemment, les groupes d'animaux qu'ils avaient comparés accusaient une différence de sélection de 20 années. De plus, le groupe ayant une vitesse de croissance plus rapide n'a pas seulement été soumis à une sélection sur le gain moyen quotidien, mais il provient d'animaux contemporains, ayant été soumis à l'ensemble des critères de sélections modernes.

2.5.2.3 Qualité

Les animaux à vitesse de croissance rapide n'ont pas montré une valeur de pH_u et de pH 48 heures significativement différentes (Correa et coll., 2006 ; Tableau 2.6). Kristensen et coll. (2002) ont montré que les variations de vitesse de croissance chez le porc attribuables à une restriction alimentaire engendrent une diminution de la valeur du pH_u pour les animaux restreints. Oksbjerg et coll. (2000) ont montré que les porcs dont la vitesse de croissance est plus élevée suite à une sélection sur le gain moyen quotidien ont une valeur de pH_u inférieure en comparaison à des animaux non sélectionnés. Néanmoins, les différences génétiques trouvées entre les deux groupes étudiés ne pointent pas uniquement vers un effet de sélection sur le gain moyen quotidien, étant donné que le groupe sélectionné a été soumis à l'ensemble des caractéristiques de sélection durant les 20 dernières années. Brocks et coll. (1998) ont également étudié l'effet de la sélection sur le gain moyen quotidien sur la valeur du pH_u . Dans leurs travaux, ils ont montré une diminution de la valeur du pH_u pour les animaux sélectionnés pour la vitesse de croissance en comparaison avec ceux sélectionnés pour la teneur en maigre. Par contre, ils ont montré que l'effet des générations lors de la sélection sur le gain moyen quotidien résulte en une augmentation de la valeur du pH_u avec les générations.

Tel qu'observé par de Vries et coll. (1994), les vitesses de croissance, rapide et lente, n'ont pas engendré de variation pour ce qui est de la couleur objective et subjective (Correa et coll., 2006). Par contre, Oksbjerg et coll. (2000) ont montré que la sélection pour augmenter la vitesse de croissance sur une période de 20 années engendre une augmentation de la valeur de L^* et une diminution de la composante a^* . Ces résultats ont été accompagnés par une réduction de la teneur en myoglobine pour les animaux de ce groupe. À l'opposé, Brocks et coll. (1998) ont trouvé que la sélection sur le gain engendrait, de génération en génération, une diminution de la valeur du L^* et

du b^* , mais n'avait aucun effet sur la valeur de a^* . Dans leur étude, la teneur en myoglobine n'a pas été mesurée.

Les deux vitesses de croissance à l'étude n'ont pas différencié pour ce qui est des pertes en eau et de la solubilité des protéines (Correa et coll., 2006 ; Tableau 2.6). Oksbjerg et coll. (2000) et Kristensen et coll. (2002) n'ont trouvé aucune différence pour les pertes en eau en relation avec des groupes d'animaux ayant des vitesses de croissance différentes. Aucune étude recensée ne fait état de la solubilité des protéines en fonction de différentes vitesses de croissance.

Les vitesses de croissance n'ont eu aucun effet significatif sur la tendreté évaluée par les FC et par l'analyse sensorielle, l'IFM et la jutosité (Tableau 2.6). Oksbjerg et coll. (2000) n'ont pas montré de différences pour la tendreté évaluée à l'aide des FC chez des animaux sélectionnés pour une amélioration du gain quotidien. Ils ont cependant montré une réduction de la tendreté évaluée par analyse sensorielle pour les animaux ayant été sélectionnés pour l'amélioration de la vitesse de croissance. Selon Kristensen et coll. (2002), l'indice de fragmentation myofibrillaire mesuré à un jour après l'abattage est plus élevé chez les animaux à croissance rapide. Ils ont également montré que la mesure des forces de cisaillement est plus faible chez ces animaux. Oksbjerg et coll. (2000) n'ont pas montré d'effet de la vitesse de croissance sur la jutosité. Par contre, ils ont montré que la flaveur des porcs sélectionnés sur une croissance plus rapide diminuait en comparaison avec leurs congénères à croissance lente. Dans la présente étude, la flaveur a été plus élevée chez les femelles à vitesse de croissance rapide de 125 kg (Figure 2.6).

2.5.3 Effets sexe

2.5.3.1 *Histochimie*

La taille moyenne des fibres et des différents types de fibres n'a pas été influencée par les sexes contrairement à ce qu'ont mentionné Larzul et coll. (1997) et Rehfeldt et coll. (1999 et 2004), (Tableau 2.1). De plus, l'effet significatif du sexe sur la surface relative des fibres de type I et IIb n'a pas été trouvé par Larzul et coll. (1997). Les sexes n'ont pas eu d'effet sur le pourcentage des différents types de fibres (Tableau 2.1). Cette absence d'effet a également été montrée par Larzul et coll. (1997). Par contre, Brocks et coll. (1998 et 2000) ont montré une augmentation du pourcentage des fibres de type IIb, ainsi qu'une diminution du pourcentage de celle de type I chez les femelles soumises à une sélection combinant l'amélioration de la teneur en maigre et le gain quotidien. Ces auteurs mentionnent que le pourcentage plus élevé de fibres de type IIb trouvé chez les femelles serait attribuable à une maturation musculaire plus précoce pour celles-ci.

2.5.3.2 Enzymes métaboliques

Tel qu'obtenu par Larzul et coll. (1997), les activités de la CS et de la LDH n'ont pas été influencées par les sexes (Tableau 2.3). Le ratio LDH/CS a été plus faible pour les castrats à vitesse de croissance lente que ceux à vitesse de croissance rapide et les femelles à vitesse de croissance lente. L'activité enzymatique du système calpaïnes/calpastatine en relation avec les sexes ne semble pas avoir été étudiée jusqu'à maintenant. Dans la présente étude, les sexes n'ont pas eu d'effet significatif sur l'activité des enzymes du système calpaïnes/calpastatine ni sur leur ratios. En accord avec Larzul et coll. (1997), les femelles ont montré une valeur de PG supérieure aux castrats. La teneur en myoglobine n'a pas été affectée par les sexes.

2.5.3.3 Qualité

Conformément à ce que Larzul et coll. (1997) ont montré, les femelles ont obtenu une valeur de pH_u inférieure à ce qui a été obtenu pour les castrats (Correa et coll., 2006). Par contre, la mesure du pH 48 heures n'a pas différencié significativement entre les sexes (Tableau 2.6), ce qui est appuyé par les travaux de Barton-Gade (1987), Warris et coll. (1990) et Cisneros et coll. (1996). La variation de pH entre les sexes pour le pH_u et le pH 48 heures est équivalente, soit 0,02 unité de pH. L'écart significatif obtenu pour le pH_u provient sans doute du fait que le nombre d'animaux employé pour calculer la valeur moyenne du pH était supérieur à celui utilisé pour le calcul du pH 48 heures, ce qui a diminué les variations inter-groupes et occasionné une différence significative.

En accord avec les résultats de Barton-Gade (1987), Lindahl et coll. (2001), Candek-Potokar et coll. (2002) et Latorre et coll. (2004), la couleur du muscle n'a pas différencié entre les sexes (Correa et coll., 2006). L'absence de distinction de couleur pour les sexes est appuyée par l'absence de différence de la teneur en myoglobine. Des corrélations négatives ont été obtenues entre les valeurs de pH et les caractéristiques de la couleur objective (Tableau 2.7). Warris et Brown (1987), Offer (1991), Warner et coll. (1997), Bendal et Swatland (1998), Brewer et coll. (2001) et Zhu et Brewer (2002) ont mentionné que les diminutions de pH engendrent des pertes de couleur, tant mesurée de façon objective que subjective. Malgré la différence significative du pH_u (0,02 unité de pH), ainsi que les corrélations négatives obtenues entre les caractéristiques de la couleur objective et la valeur de pH, la couleur de la viande des castrats et des femelles a été la même.

L'augmentation des pertes en eau mesurée chez les femelles étudiées en comparaison avec les castrats contredit les résultats de Warris et coll. (1990) et Cisneros et coll. (1996) qui n'ont trouvé

aucune différence entre les sexes pour ce paramètre (Correa et coll., 2006). Par contre, Candek-Potokar et coll. (2002) ont trouvé que les muscles du jambon des femelles possèdent de meilleures caractéristiques pour la rétention d'eau. Comme il a été mentionné précédemment, les femelles ont obtenu une valeur de pH_u inférieure à celle des castrats. Ceci est appuyé par la corrélation négative entre le pH et les pertes en eau (Tableau 2.7). La solubilité des protéines n'a pas été influencée par les sexes (Tableau 2.6).

Les sexes n'affectent pas la mesure de la tendreté par les FC et par l'analyse sensorielle (Tableau 2.6). Ceci est consistant avec les travaux de Barton-Gade (1987) et ceux de Cisneros et coll. (1996). Comme le mentionnent Correa et coll. (2006), les castrats ont une viande plus persillée que celle des femelles. Une corrélation négative est observée entre le persillage et la mesure des FC (Tableau 2.10). Par contre, aucune corrélation significative n'a été obtenue entre l'évaluation sensorielle de la tendreté et le persillage. Rivest et coll. (2006) ont montré que les femelles ont une meilleure conversion alimentaire, ainsi qu'une épaisseur de gras dorsal inférieure à ce qui a été mesuré pour les castrats. À cet effet, Lonergan et coll. (2001) ont mentionné que l'efficacité de croissance en maigre correspond à une amélioration de ces deux paramètres et ils ont montré que les animaux ayant une meilleure efficacité de croissance présente une viande moins tendre. Bien que la présente étude ne mette pas en cause les effets d'une sélection sur l'efficacité de croissance en maigre, les résultats zootechniques suggèrent une certaine supériorité de l'efficacité de croissance en maigre pour les femelles en comparaison aux castrats. Il est possible que la moindre tendreté par l'analyse sensorielle pour la viande des femelles soit un effet indirect lié à leur efficacité de croissance en maigre. Il est également plausible que la teneur en persillage, plus élevée chez les castrats, ait joué un certain rôle dans l'obtention d'une viande plus tendre pour ces derniers.

En accord avec les résultats de Cisneros et coll. (1996) la jutosité n'a pas été significativement différente entre les castrats et les femelles. La flaveur perçue par les panélistes a été plus élevée pour les femelles à vitesse de croissance rapide de 125 kg (Figure 2.6).

2.6 Conclusion

Le poids d'abattage et la vitesse de croissance n'ont pas eu d'effet significatif sur les critères de la qualité du *longissimus dorsi* des porcs à l'étude. Toutefois, certains effets sur le profil musculaire ont été observés. La taille moyenne des fibres musculaires et plus spécifiquement celles de type I et IIb a été augmenté avec l'augmentation du poids d'abattage. La taille des fibres de type I a diminué et le pourcentage de fibres de type I a augmenté chez les animaux ayant une vitesse de croissance rapide en comparaison à ceux ayant une vitesse de croissance lente. Les seuls impacts

des sexes sur les critères de qualité de la viande sont des pertes en eau et un pH ultime inférieurs pour les femelles que pour les castrats. Les sexes n'ont pas engendré de variation de qualité de la viande majeure. Il a été possible d'observer certaines variations des traits métaboliques à l'étude. Quant au profil métabolique, les femelles ont présenté une surface relative plus faible pour les fibres de type I et plus grande pour les fibres de type IIb en comparaison aux castrats. Les femelles ont également été caractérisées par une valeur de potentiel glycolytique plus élevée que les castrats.

Malgré le fait que les variations métaboliques observées n'aient pas engendré de variations majeures des critères de la qualité de la viande, il serait intéressant de mieux connaître les amplitudes pour lesquelles les variations métaboliques serait associées à des modifications des critères de qualité de la viande. Il serait également intéressant de mieux étudier les effets de l'augmentation de la vitesse de croissance sur les caractéristiques métaboliques et de la qualité de la viande, en considérant l'effet de la sélection sur des générations et non sur deux populations ayant des vitesses de croissance différentes.

2.7 Liste des ouvrages cités

Barton-Gades, P.A. 1987. Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livestock Production Science*, 16 : 187-196.

Bass, A., Brdiczka, D., Eyer, P., Hofer, S. & Pette, D. 1969. Metabolic differentiation of distinct muscle types at the level of enzymatic organization. *European journal of biochemistry*, 10 :198- 208

Bendall, J.R. & Swatland, H.J. 1988. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Science*, 24 : 85-126.

Boehm, M.L., Kendall, T.L., Thompson, V.F. & Goll, D.E. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during *post-mortem* storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science*, 76 : 2415-2434.

Brewer, M.S., Zhu, L.G., Bidner, B., Meisinger, D.J. & McKeith, F.K. 2001. Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters. *Meat Science*, 57 : 169-176.

Brocks, L., Hulsegge, B. & Merkus, G. 1998. Histochemical characteristics in relation to meat quality properties in the *longissimus lumborum* of fast and lean growing lines of Large White pigs. *Meat science*, 50 : 411-420.

Brocks, L., Klontz, R.E., Buist, W., de Greef, K., Tieman, M. & Engel, B. 2000. The effects of selection of pigs on growth rate vs leanness on histochemical characteristics of different muscles. *Journal of Animal Science*, 78 : 1247–1254.

Brooke, M. H., Kaiser, K.K. 1970. Muscle fiber types : How many and what kind ? *Arch Neurology*, 23 : 369-379.

Candek-Potokar, M., Zlender, B., Lefaucheur, L. & Bonneau, M. 1998. Effects of age and/or weight at slaughter on *longissimus dorsi* muscle: biochemical traits and sensory quality in pigs. *Meat Science*, 48 : 287-300.

Candek-Potokar, M., Lefaucheur, L., Zlender, B. & Bonneau, M. 1999. Effect of slaughter weight and/or age on histological characteristics of pig *longissimus dorsi* muscle as related to meat quality. *Meat Science*, 52 : 95-203.

- Candek-Potokar, M., Monin, G. & Zlender, B. 2002. Pork quality, processing, and sensory characteristics of dry-dured hams as influenced by Duroc crossing ans lines. *Journal of animal science*, 80 : 988-996.
- Channon, H.A., Payne, A.M. & Warner, R.D. 2000. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Science*, 56 : 291-299.
- Cisneros, F., Ellis, M., McKeith, F. K., McCaw, J. & Fernando, R. L. 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74 : 925 –933.
- Correa, J.A., Faucitano, L., Laforest, J.P., Rivest, J., Marcoux, M. & Gariépy, C. 2006. Effects of slaughter weight on carcass composition and quality in pigs of two different growth rates. *Meat Science*, 72 : 91–99.
- Cottin, P., Brustis, J.J., Poussard S., Elamrani N., Broncard S., & Ducastaing A. 1994. Ca²⁺-dependent proteinases (calpains) and muscle cell differentiation. *Biochimica and Biophysica Acta*, 1223: 170-178.
- Crouse, J.D., Koohmaraie, M. & Seideman S.D. 1991. The relationship of muscle fibre size to tenderness of beef. *Meat Science*, 30 : 295-302.
- Dransfield, E. 1993. Modelling *post-mortem* tenderisation III: Role of calpain I in conditioning. *Meat Science*, 31 : 85-94.
- de Vries, A.G., van der Wal, P.G., Long, T., Eikelenboom, G. & Merks, J.W.M. 1994. Genetic parameters of pork quality and production traits in Yorkshire populations. *Livestock Production Science*, 40 : 277-289.
- Dwyer, C.M., Fletcher, J.M. & Stickland, N.C. 1993. Muscle cellularity and postnatal growth in the pig. *Journal of Animal Science*, 71 : 3339-3343.
- Eggert, J.M., Depreux, F.F.S., Schinckel, A.P., Grant, A.L. & Gerrard, D.E. 2002. Myosin heavy chain isoforms account for variation in pork quality. *Meat Science*, 61 : 117 –126.

Essen-Gustavsson, B., Karlstrom, K. & Lundstrom, K. 1992. Muscle fiber characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality. *Meat Science* 31:1-11.

Goll, D.E., Thompson, V.F. & Christiansen, J.A. 1992. Role of the calpain system in muscle growth. *Biochimie*, 74 : 225-237.

Goll, D.E., Thompson, V.F., Taylor, R.G. & Ouali, A. 1998. The calpain system and skeletal muscle growth. *Canadian Journal of Animal Science*, 78 : 503-512.

Hamilton, D.N., Miller, K.D., Ellis, M., McKeith, F.K., & Wilson, E.R. 2003. Relationships between *longissimus* glycolytic potential and swine growth performance, carcass traits, and pork quality. *Journal of Animal Science*, 81 : 2206–2212.

Henckel, P., Oksbjerg, N., Erlandsen, E., Barton-Gade, P. & Bejerholm, C. 1997. Histo- and biochemical characteristics of the *longissimus dorsi* muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality. *Meat Science*, 47 : 311-321.

Hopkins, D.L., Littlefield, P.J. & Thompson, J.M. 2000. A research note on factors affecting the determination of myofibrillar fragmentation. *Meat Science*, 56:19-22.

Huff-Lonergan, E., Baas, T.J., Malek, M., Dekkers, J.C.M., Prusa, K. & Rothschild, M.F. 2002. Correlations among selected pork quality traits. *Journal of Animal Science*, 80 : 617 –627.

Joo, S.T., Kauffman, R.G., Kim, B.C. & Par, G.B. 1999. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine *longissimus* muscle. *Meat Science*, 52 : 291±297.

Koohmaraie, M. 1990. Quantification of Ca²⁺-dependent protease activities by hydrophobic and ion-exchange chromatography. *Journal of Animal Science*, 68 : 659-665.

Koohmaraie, M. 1992. The role of Ca²⁺-dependent protease (calpains) in *post-mortem* proteolysis and meat tenderness. *Biochimie*, 74 : 239-245.

Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36 : 93-104.

Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43:S193-S201.

Koohmaraie, M., Kent, M.P., Shackelford, S.D., Veiseth, E. & Wheeler, T.L. 2002. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Science*, 62 : 345-352.

Kristensen, L., Therkildsen, M., Riis, B., Sørensen, M.T., Oksbjerg, N., Purslow, P.P., & Erbjerg, P. 2002. Dietary-induced changes of muscle growth rate in pigs: Effects on *in vivo* and *postmortem* muscle proteolysis and meat quality. *Journal of Animal Science*, 80 : 2862–2871.

Larzul, C., Lefaucheur, L., Ecolan, P., Gogue, J., Talmant, A., Sellier, P., Le Roy, P. & Monin, G. 1997. Phenotypic and genetic parameters for *longissimus* muscle fiber characteristics in relation to growth, carcass, and meat quality traits in Large White pigs. *Journal of Animal Science*, 75 : 3126–3137.

Larzul, C., Le Roy, P., Monin, G. & Sellier, P. 1998. Variabilité génétique du potentiel glycolytique du muscle chez le porc. *INRA Productions Animales*, 1 : 183-197.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Valencia, D.G., Medel, P. & Mateos, G.G. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 82 : 526–533.

Lebret, B., Le Roy, P., Monin, G., Lefaucheur, L., Caritez, J.C., Talmant, A., Elsen, J.M. & Sellier, P. 1999. Influence of the three RN genotypes on chemical composition, enzyme activities, and myofiber characteristics of porcine skeletal muscle. *Journal of Animal Science*, 77 : 1482–1489.

Lefaucheur, L. & Vigneron, P. 1986. Post-natal changes in some histochemical and enzymatic characteristics of three pig muscles. *Meat Science*, 16 : 199-216.

Lefaucheur, L. & Ecolan P. 1998. Composition en chaînes lourdes de myosine des fibres musculaires de type II chez le porc. *INRA Productions Animales*, 11 : 152-154.

Lefaucheur, L. 2001. Myofiber typing and pig meat production. *Slovenian Veterinary Research*, 38: 5-33.

Lindahl, G., Lundström, K. & Tornberg, E. 2001. Contribution of pigment content, myoglobin forms and internal reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat Science*, 59 : 141–151.

Loneragan, S.M., Huff-Loneragan, E., Rowe, L.J., Kuhlers, D.L. & Jungst, S.B. 2001. Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *Journal of Animal Science*, 79 : 2075-2085.

Maltin, C.A., Warkup, C.C., Matthews, K.R., Grant, C.M., Porter, A.D. & Delday, M.I. 1997. Pig muscle fibre characteristics as a source of variation in eating quality. *Meat Science*, 41 : 231-248.

Moller, A. J. 1981. Analysis of Warner-Bratzler shear pattern with regard to myofibrillar and connective tissue components of tenderness. *Meat Science*, 5 : 247-260.

Monin, G. & Sellier, M. 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate *post-mortem* period: the case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13:49-63.

Mozdziak, P.E., Giamario, C. & Petite, J.N. 2003. Myonuclear accretion – a brief review. *Animal Science Papers and report*, 21: 121 -131, suppl. 1.

Nachlas, M.M., Tsou, K., De Souza, E., Cheng, C. & Seligman, A. M.1956. Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new p-nitrophenyl substituted ditetrazole. *Journal of histochemistry and cytochemistry*, 5:420-435.

Offer, G. 1991. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30 : 157-184.

Oksbjerg, N., Petersen, J.S., Sorensen, L., Henckel, P., Vestergaard, M., Ertbjerg, P., Moller, A.J., Bejrholm, C. & Stoier, S. 2000. Long-term changes in performance and meat quality of Danish Landrace pigs : a study on a current compared with an unimproved genotype. *Animal Science*, 71: 81-92.

Ouali, A. 1992. Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochimie*, 74 : 251-265.

Rehfeldt, C., Stickland, N.C., Fiedler, I. & Wegner, J. 1999. Environmental and genetic factors as sources of variation in skeletal muscle fibre number. *Basic and Applied Myology*, 9: 235-253.

Rehfeldt, C., Fiedler, I. & Stickland, N.C. 2004. Number and size of muscle fibres in relation to meat production. Dans: *Muscle development of livestock animals*. Te Pas, M.F.W., Everts, M.E. & Haagsman, H.P. (éd.) Cabi Publishing, Oxfordshire, UK.

Rivest, J., Laforest, J.P., Levallois, R., Faucitano, L. & Gariépy, C. 2007. Effects of slaughter weight on performances in pigs of different growth rates. *Canadien Journal of animal science*, Soumis pour publication.

Srere, P.A. 1969. Citrate synthase. *Methods enzymology*. 13:3-11

SAS. 2000. SAS/Stat user's guide: Statistics (release 6.04) SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Sutton, D.S., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F.K. & Wilsod, E.R. 1997. Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46 : 173-180.

Temm-Grove, C.J., Wert, D., Thompson, V.F., Allen, R.E. & Goll, D.E. 1999. Microinjection of calpastatin inhibits fusion in myoblasts. *Experimental Cell Research*, 247: 293 –303.

Veiseth, E., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. & Koohmaraie, M. 2004. Factors regulating lamb *longissimus* tenderness are affected by age at slaughter. *Meat Science*, 68 : 635 –640.

Warner, R.D., Kauffman, R.G. & Greaser, M.L. 1997. Muscle protein changes *post-mortem* in relation to quality traits. *Meat Science*, 45 : 339-352.

Warriss, P.D. & Brown, S.N. 1987. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, 20 : 67-74.

Warriss, P.D., Brown, S.N. & Adams, S.J.M. 1990. Variation in haem pigment concentration and colour in meat from British pigs. *Meat Science*, 28 : 321-329.

Xiong, Y.L. & Brekke, C.J. 1989. Changes in protein solubility and gelation properties of chicken myofibrils during storage. *Journal of food science*, 54: 1141-115.

Zhu, L.G. & Brewer, M.S. 2002. Effects of pH and temperature on metmyoglobin solubility in a model system. *Meat Science*, 61 : 419 –424.

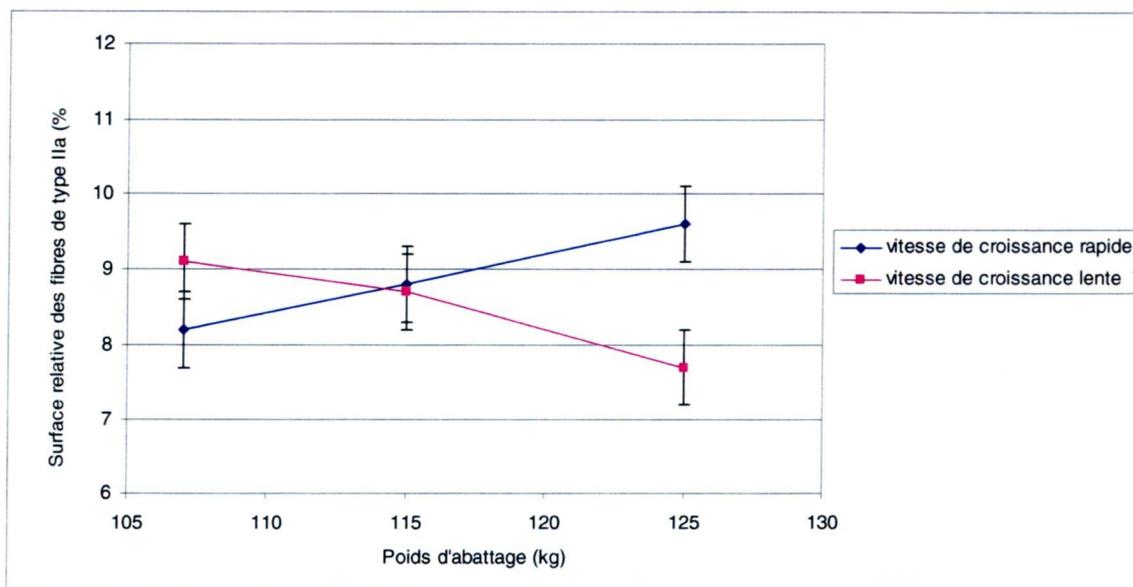


Figure 2.1 Effet du poids d'abattage et de la vitesse de croissance sur la surface relative des fibres de types IIa du *longissimus dorsi*. Interaction significative ($P = 0,02$); Les barres représentent l'erreur-type.

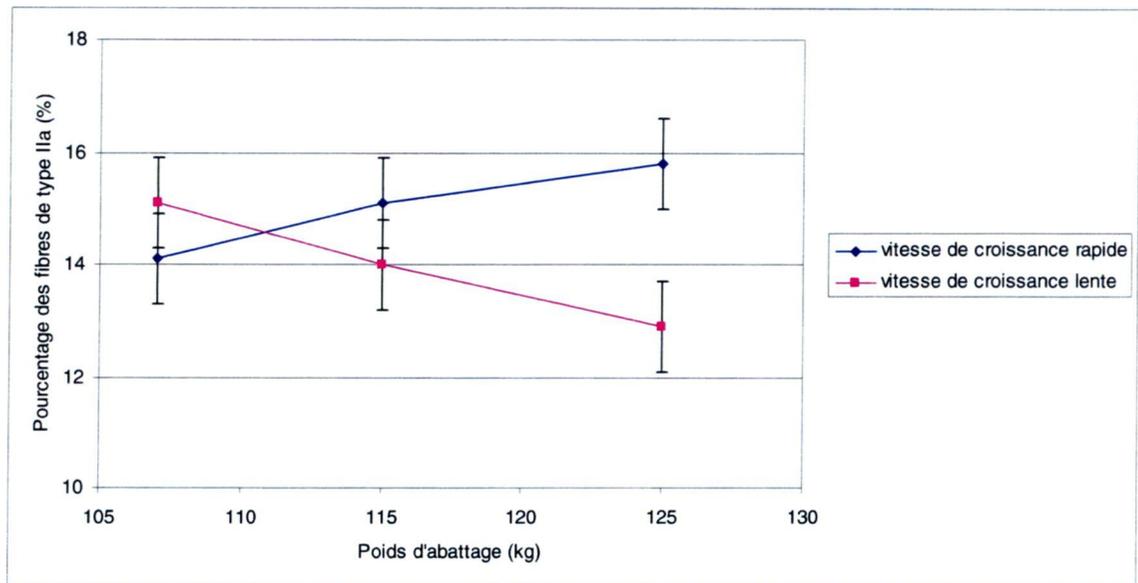


Figure 2.2 Effet du poids d'abattage et de la vitesse de croissance sur le pourcentage des fibres de types IIa du *longissimus dorsi*. Interaction significative ($P = 0,05$); Les barres représentent l'erreur-type.

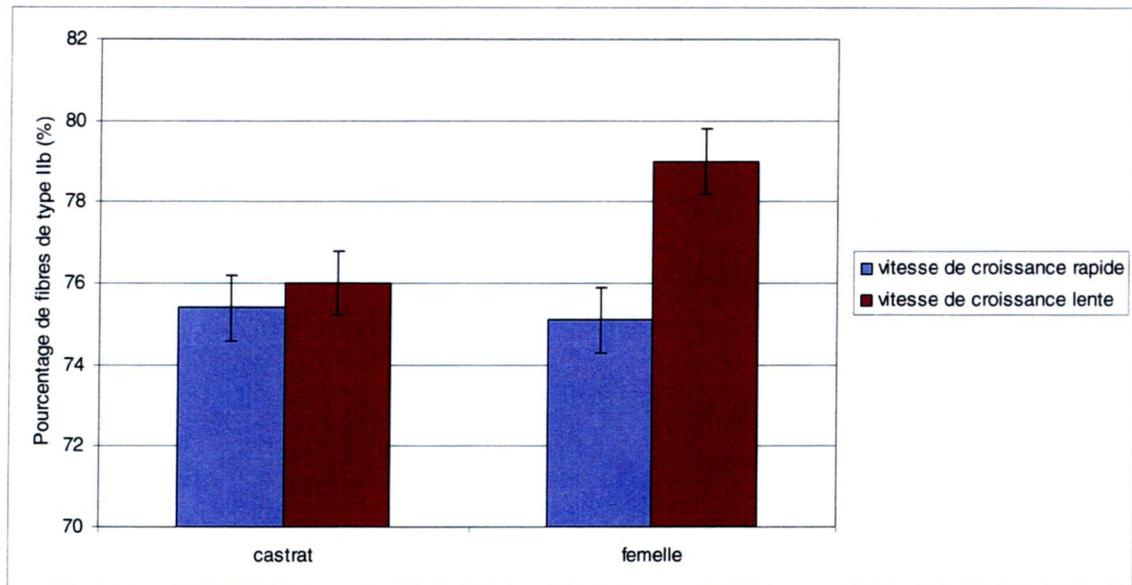


Figure 2.3 Effet de la vitesse de croissance et des sexes sur le pourcentage des fibres de types IIb du *longissimus dorsi*. Interaction significative ($P = 0,04$); Les barres représentent l'erreur-type.

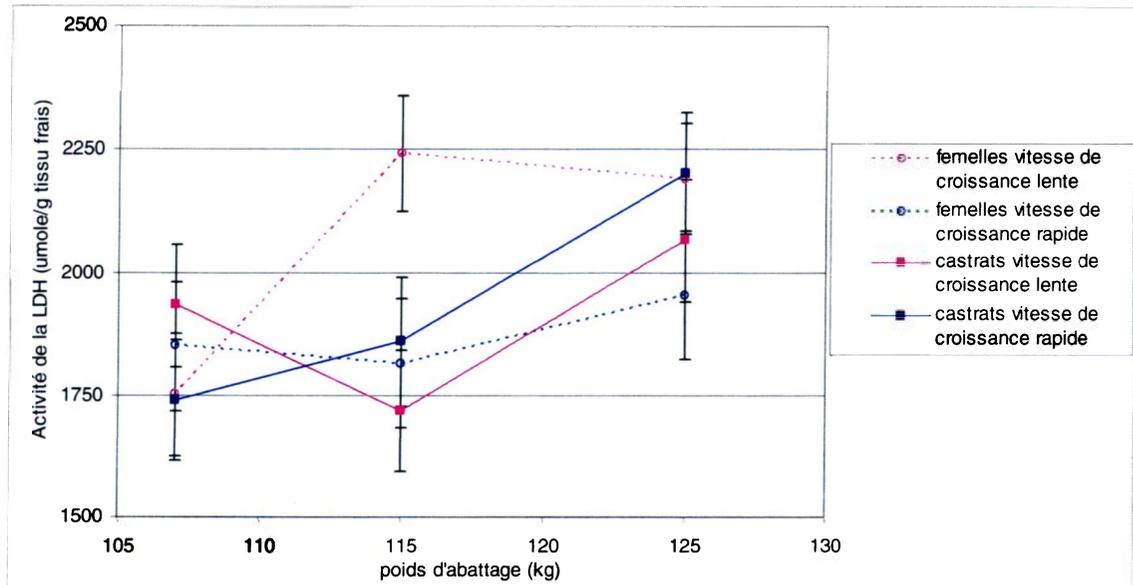


Figure 2.4 Effet du poids d'abattage, de la vitesse de croissance et des sexes sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le *longissimus dorsi*. Interaction significative ($P < 0,05$); Les barres représentent l'erreur-type.

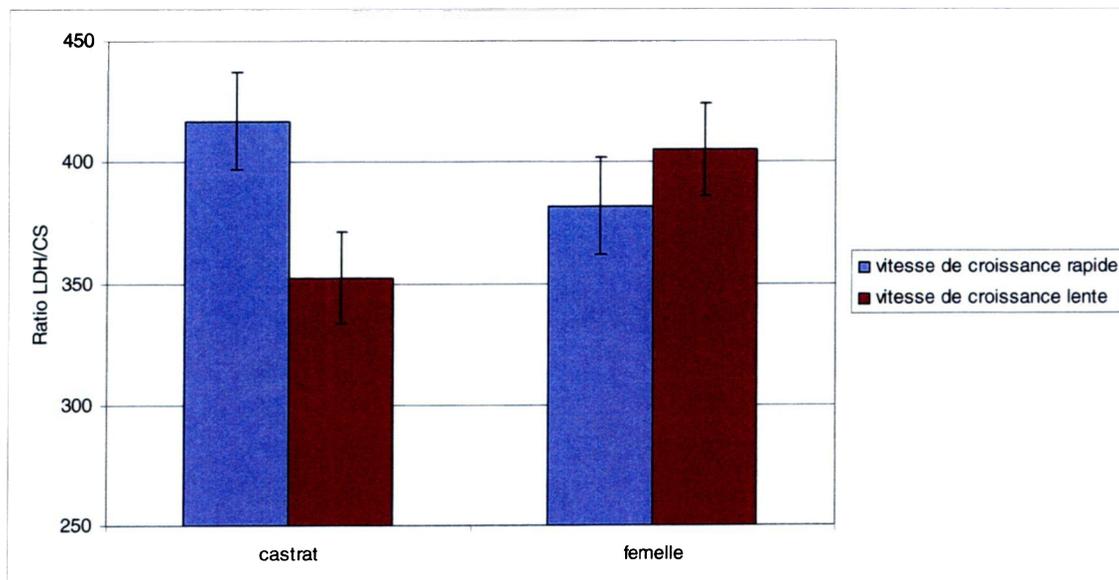


Figure 2.5 Effet de la vitesse de croissance et des sexes sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le *longissimus dorsi*. Interaction significative ($P < 0,05$); Les barres représentent l'erreur-type.

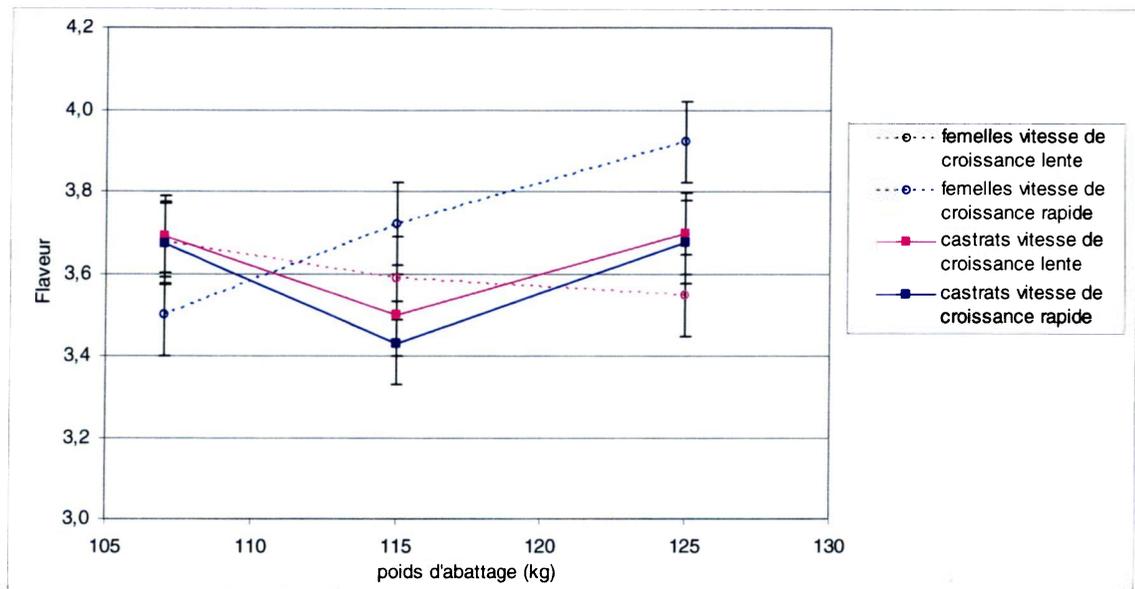


Figure 2.6 Effet de la vitesse de croissance et des sexes sur l'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) dans le *longissimus dorsi*. Interaction significative ($P < 0,05$); Les barres représentent l'erreur-type.

Tableau 2.1. Influence de l'accroissement du poids d'abattage, de la vitesse de croissance, du sexe et leurs interactions sur les caractéristiques histochimiques et immunologiques du *longissimus dorsi*.

	Poids d'abattage			Vitesse Croissance		Sexe		Interactions			
	107 kg	115 kg	125 kg	Rapide	Lent	Castrat	Femelle	pa x vc	pa x s	vc x s	pa x vc x s
Surface relative (%)											
Type I	6,2 (0,3)	6,1 (0,3)	6,0 (0,3)	6,3 (0,2)	6,0 (0,2)	6,5 ^a (0,20)	5,7 ^b (0,2)	NS	NS	NS	NS
Type IIa	8,6 (0,4)	8,8 (0,4)	8,6 (0,4)	8,8 (0,3)	8,5 (0,3)	8,9 (0,3)	8,5 (0,3)	*	NS	NS	NS
Type IIb	85,2 (0,5)	85,1 (0,5)	85,3 (0,5)	84,9 (0,4)	85,5 (0,4)	84,6 ^b (0,4)	85,8 ^a (0,4)	NS	NS	NS	NS
Pourcentage de chaque type de fibres (%) histochimie classique											
Type I	9,6 (0,5)	9,0 (0,5)	8,7 (0,5)	9,7 ^a (0,4)	8,5 ^b (0,4)	9,6 (0,4)	8,7 (0,4)	NS	NS	NS	NS
Type IIa	14,6 (0,6)	14,5 (0,6)	14,3 (0,6)	15,0 (0,5)	14,0 (0,5)	14,8 (0,5)	14,2 (0,5)	*	NS	NS	NS
Type IIb	75,8 (0,7)	76,4 (0,7)	76,9 (0,7)	75,2 ^b (0,6)	77,5 ^a (0,6)	75,7 (0,5)	77,1 (0,6)	NS	NS	*	NS
Taille des fibres (µm²)											
Type I	3080 (113) ^b	3330 (112) ^{ab}	3631 (113) ^a	3151 (95) ^b	3543 (89) ^a	3396 (91)	3298 (93)	NS	NS	NS	NS
Type IIa	2745 (108)	3025 (107)	3122 (108)	2896 (91)	3034 (85)	2935 (87)	2995 (89)	NS	NS	NS	NS
Type IIb	5226 (147) ^b	5490 (146) ^{ab}	5771 (147) ^a	5481 (124)	5511 (116)	5456 (118)	5535 (122)	NS	NS	NS	NS
Pourcentage isoforme II (%) Immunohistochimie											
Type IIa	9,6 (0,6)	9,2 (0,6)	9,3 (0,6)	9,7 (0,5)	9,1 (0,5)	9,1 (0,5)	9,6 (0,5)	NS	NS	NS	NS
Type IIx	31,6 (1,4)	32,4 (1,4)	33,0 (1,4)	31,6 (1,2)	33,1 (1,1)	33,5 (1,1)	31,2 (1,2)	NS	NS	NS	NS
Type IIb	49,3 (1,6)	49,0 (1,6)	48,7 (1,6)	48,7 (1,4)	49,3 (1,3)	48,0 (1,3)	50,1 (1,4)	NS	NS	NS	NS
Nombre total de fibre											
	973534 (25272)	974318 (25089)	978640 (25164)	987532 (21254)	963463 (19833)	950092 (20256)	1000903 (20851)	NS	NS	NS	NS
Taille moyenne des fibres (µm²)											
	4630 (120) ^b	4926 (120) ^{ab}	5182 (120) ^a	4843 (101)	4982 (95)	4866 (97)	4959 (99)	NS	NS	NS	NS

Pour un traitement et un type de fibres donné, les moyennes (LSmeans) identifiées par une lettre différente diffèrent significativement ($P \leq 0,05$); Pour les interactions, * indique un effet significatif ($P \leq 0,05$) et NS, un effet non significatif; L'erreur type est indiquée entre parenthèse.

Tableau 2.2. Corrélations entre les caractéristiques histochimiques, le poids de la carcasse et le gain moyen quotidien.

	Poids de la carcasse	GMQ	# f totales
	Coefficient de corrélation		
T moy	0,30*	-0,23*	-0,79*
# f totales	0,03	0,17	
% I	0,11	0,29*	
% IIa	-0,08	0,14	
% IIb	-0,06	-0,31*	
Taille I	0,30*	-0,14	
Taille IIa	0,25*	-0,16	
Taille IIb	0,24*	-0,17	

Poids de la carcasse en kg; GMQ : gain moyen quotidien; % I : pourcentage de fibre de type I, % IIa : pourcentage de fibres de type IIa; % IIb : pourcentage de fibre de type IIb; Taille I : taille moyenne d'une fibre de type I en μm ; Taille IIa : taille moyenne d'une fibre de type IIa en μm ; Taille IIb : taille moyenne d'une fibre de type IIb en μm ; f totales : nombre total de fibres; T moy : taille moyenne de toutes les fibres confondues en μm^2 .

* Corrélation significative ($P \leq 0,05$)

Tableau 2.3. Influence de l'augmentation du poids d'abattage, de différentes vitesses de croissance, du sexe et leurs interactions sur les caractéristiques biochimiques du *longissimus dorsi*.

	Poids d'abattage			Vitesse croissance			Sexe		Interaction		
	107 kg	115 kg	125 kg	Rapide	Lent	Castrat	Femelle	pa x vc	pa x s	vc x s	pa x vc x s
CS	4,86 ^b (0,19)	5,20 ^{ab} (0,19)	5,62 ^a (0,19)	5,02 (0,16)	5,43 (0,15)	5,27 (0,16)	5,18 (0,16)	NS	NS	NS	NS
LDH	1818 ^b (63)	1908 ^b (63)	2102 ^a (61)	1903 (52)	1983 (52)	1919 (51)	1967 (51)	NS	NS	NS	*
LDH/CS	396,3 (17,0)	380,6 (17,1)	390,2 (16,9)	399,4 (14,3)	378,7 (13,4)	384,6 (14,0)	393,5 (14,0)	NS	NS	*	NS
μ-cal	1,62 (0,14)	1,27 (0,14)	1,24 (0,14)	1,45 (0,11)	1,31 (0,11)	1,40 (0,11)	1,35 (0,11)	NS	NS	NS	NS
m-cal	3,55 (0,17)	3,34 (0,17)	3,56 (0,17)	3,60 (0,14)	3,37 (0,14)	3,51 (0,14)	3,46 (0,14)	NS	NS	NS	NS
calp	7,83 ^{ab} (0,41)	6,78 ^b (0,41)	8,68 ^a (0,41)	8,08 (0,34)	7,45 (0,34)	7,83 (0,34)	7,69 (0,34)	NS	NS	NS	NS
μ/calp	0,21 (0,02)	0,19 (0,02)	0,15 (0,02)	0,19 (0,02)	0,18 (0,02)	0,19 (0,02)	0,18 (0,02)	NS	NS	NS	NS
μ+m/calp	0,68 ^{ab} (0,04)	0,69 ^a (0,04)	0,58 ^b (0,04)	0,65 (0,04)	0,65 (0,04)	0,65 (0,04)	0,64 (0,04)	NS	NS	NS	NS
PG	164,8 (4,5)	162,5 (4,4)	166,7 (4,4)	166,3 (3,8)	163,0 (3,4)	157,0 ^b (3,6)	172,4 ^a (3,6)	NS	NS	NS	NS
Myo	1,31 (0,05)	1,43 (0,06)	1,44 (0,05)	1,40 (0,05)	1,39 (0,04)	1,38 (0,05)	1,41 (0,04)	NS	NS	NS	NS

CS : citrate synthase, LDH : lactate déshydrogénase, activité en μmole d'activité par g de tissus frais. μ-cal : μ-calpaïne, m-cal : m-calpaïne, calp: calpastatine, en unité d'activité par g de tissus frais. μ/calp : μ-calpaïne/calpastatine, μ+m/calp : μ-calpaïne+ m-calpaïne/calpastatine. PG : potentiel glycolytique en μmole par g de tissus frais. Myo : myoglobine en mg/g de tissus frais. Pour un traitement, les moyennes (LSmeans) identifiées par une lettre différente et une * pour les interactions différent significativement ($P \leq 0,05$). NS : non significatif. L'erreur type est indiquée entre parenthèse.

Tableau 2.4. Corrélations entre les enzymes métaboliques, CS et LDH, et le gain moyen quotidien, le poids de la carcasse et le potentiel glycolytique.

	Citrate synthase	Lactate déshydrogenase
	Coefficient de corrélation	
Poids carcasse	0,19*	0,28*
GMQ	-0,28*	-0,31*
Potentiel Glycolytique	0,22*	0,04
Citrate synthase		0,26*

Poids de la carcasse en kg; GMQ : gain moyen quotidien en kg, CS : citrate synthase, LDH : lactate déshydrogénase, activité en μ mole d'activité par g de tissus frais. PG : potentiel glycolytique en μ mole par g de tis us frais. * : $P \leq 0,05$.

Tableau 2.5. Corrélations entre le potentiel glycolytique et le poids de la carcasse, le gain moyen quotidien, le pH et les caractéristiques histochimiques des fibres.

	Potentiel Glycolytique
	Coefficients de corrélation
Poids carcasse	-0,01
GMQ	-0,21*
pH _u	-0,57*
pH 48	-0,54*
% Myhc IIa	0,27*
% Myhc IIx	-0,06
% Myhc IIb	-0,09
% fibre type I	-0,09
Taille fibre type I	-0,06
% fibre type IIa	0,11
Taille fibre type IIa	0,04
% fibre type IIb	-0,01
Taille fibre type IIb	0,0006

Poids de la carcasse en kg, GMQ : gain moyen quotidien, pH_u: mesure du pH ultime 24 heures suivant l'abattage, pH 48: mesure de pH à 48 heures suivant l'abattage, % Myhc IIa , IIx et IIb : pourcentage de la chaîne lourde de la myosine IIa, IIx et IIb. Taille des fibres en μm^2 . * : $P \leq 0,05$.

Tableau 2.6. Influence de l'accroissement du poids d'abattage, de la vitesse de croissance, du sexe et leurs interactions sur les caractéristiques physico-chimique et sensorielle du *longissimus dorsi*.

	Poids d'abattage			Vitesse croissance		Sexe		Interaction			
	107 kg	115 kg	125 kg	Rapide	Lent	Castrats	Femelles	va x vc	va x s	vc x s	pa x vc s
Qualités physico-chimiques											
pH 48 h	5,61 (0,02)	5,61 (0,02)	5,62 (0,02)	5,62 (0,02)	5,61 (0,02)	5,62 (0,02)	5,61 (0,02)	NS	NS	NS	NS
Sol. Sarco	48,4 (1,1)	48,9 (1,1)	50,0 (1,1)	48,4 (0,9)	49,7 (0,9)	49,0 (0,9)	49,3 (0,9)	NS	NS	NS	NS
Sol. myo	57,9 (1,1)	58,5 (1,1)	57,8 (1,1)	57,3 (0,9)	58,8 (0,9)	58,9 (0,9)	57,3 (0,9)	NS	NS	NS	NS
Sarco préci	0,57 (0,07)	0,58 (0,07)	0,50 (0,07)	0,47 (0,06)	0,62 (0,06)	0,56 (0,06)	0,54 (0,06)	NS	NS	NS	NS
Sol total	10,5 (0,07)	10,4 (0,07)	10,5 (0,07)	10,5 (0,06)	10,5 (0,06)	10,4 (0,05)	10,5 (0,05)	NS	NS	NS	NS
FC	2600 (92)	2699 (92)	2773 (90)	2638 (77)	2744 (72)	2651 (75)	2730 (75)	NS	NS	NS	NS
IFM	80,5 (3,5)	84,5 (3,6)	79,3 (3,4)	83,8 (2,9)	79,1 (2,8)	79,9 (2,9)	82,9 (2,8)	NS	NS	NS	NS
Analyse sensorielle											
Tendreté	4,9 (0,1)	4,8 (0,1)	5,2 (0,1)	4,8 (0,09)	5,1 (0,09)	4,9 (0,09)	5,0 (0,09)	NS	NS	NS	NS
Jutosité	4,27 (0,07)	4,41 (0,07)	4,25 (0,07)	4,30 (0,06)	4,32 (0,06)	4,35 (0,06)	4,27 (0,06)	NS	NS	NS	NS
Flaveur	3,63 ^{ab} (0,05)	3,56 ^b (0,05)	3,71 ^a (0,05)	3,61 (0,04)	3,66 (0,04)	3,65 (0,04)	3,6 (0,04)	NS	NS	NS	*

pH 48 h : Mesure de pH à 48 heures suivant l'abattage; sol. sarco : Protéine sarcoplasmique soluble et mg/g de tissus frais; sol. Myo : Protéine myofibrillaire soluble en mg/g de tissus frais; Sarco préciL protéine sarcoplasmique précipité sur les myofibrillaire en mg/g de tissus frais; FC : force de cisaillement en g/cm²; IFM : indice de fragmentation myofibrillaire Pour un traitement, les moyennes (LSmeans) identifiées par une lettre différente et une * pour les interactions différent significativement (P ≤ 0,05). NS : non significatif. L'erreur type est indiquée entre parenthèse.

Tableau 2.7. Corrélations entre les mesures de pH, la couleur, la solubilité de protéines et les pertes en eau et les caractéristiques histochimiques des fibres.

	L*	a*	b*	Sol sarco	Sol myo	Prot sol	Pertes en eau
	Coefficient de corrélation						
pH₀	-0,58*	-0,28*	-0,48*	0,20*	-0,01	0,21*	-0,57*
pH 48	-0,59*	-0,24*	-0,38*	0,22*	-0,05	0,14	-0,56*
Prot sol	-0,13	-0,15	-0,10				-0,29*
Sol myo	0,08	0,04	0,17				-0,05
sol sarco	-0,24*	-0,09	-0,27*				-0,24*
% fibre type I	0,06	0,25*	0,22*				
Taille fibre type I	-0,25*	-0,05	-0,12				
% fibre type IIa	-0,08	0,22*	-0,21*				
Taille fibre type IIa	-0,13	-0,18	-0,21*				
% fibre type IIb	0,02	-0,34*	-0,17				
Taille fibre type IIb	-0,22*	-0,08	-0,20*				

L*a*b* : couleur objective mesuré mécaniquement, pH₀ : mesure du pH ultime 24 heures suivant l'abattage, pH 48 : mesure de pH à 48 heures suivant l'abattage, sol. sarco : Protéine sarcoplasmique soluble et mg/g de tissus frais, sol. Myo : Protéine myofibrillaire soluble en mg/g de tissus frais, S tendreté : tendreté mesuré par l'analyse sensorielle, PG : potentiel glycolytique ; P ≤ 0,05

Tableau 2.8. Corrélations entre les caractéristiques histochimiques et immunologique et les valeurs de pH 24 heures et pH 48 heures

	pH _u	pH 48
	Coefficients de corrélation	
% Myhc IIa	-0,24*	-0,18
% Myhc IIx	0,06	-0,01
% Myhc IIb	0,19	0,16
% fibre type I	-0,04	-0,10
Taille fibre type I	0,15	0,38*
% fibre type IIa	0,03	0,07
Taille fibre type IIa	-0,01	0,16
% fibre type IIb	0,001	0,01
Taille fibre type IIb	-0,01	0,15

pH_u: mesure du pH ultime 24 heures suivant l'abattage, pH 48: mesure de pH à 48 heures suivant l'abattage, % Myhc IIa , IIx et IIb : pourcentage de la chaîne lourde de la myosine IIa, IIx et IIb. Taille des fibres en μm^2 . *: $P \leq 0,05$

Tableau 2.9. Corrélations entre l'analyse sensorielle, les forces de cisaillement, l'indice de fragmentation myofibrillaire, les enzymes du système calpaïnes/calpastatine.

	S tendreté	FC	IFM
	Coefficient de corrélation		
μ-calpaïne	-0,41*	-0,49*	0,30*
m-calpaïnes	0,1	-0,11	-0,10
Calpastatines	0,22	0,26*	-0,38*
μ/calpas	-0,43*	-0,54*	0,46*
μ+m/calpas	-0,31*	-0,55*	0,47*
IFM	-0,21*	0,30*	
FC	0,56*		

S tendreté : analyse sensorielle de la tendreté, FC : force de cisaillement en g/cm² IFM : indice de fragmentation myofibrillaire μ-cal : μ-calpaïne, m-cal : m-calpaïne, calp : calpastatine, en unité d'activité par g de tissu frais. μ/calp : μ-calpaïne/calpastatine, μ+m/calp : μ-calpaïne+ m-calpaïne/calpastatine. * : P≤0,05

Tableau 2.10. Corrélations entre les forces de cisaillement, l'analyse sensorielle de la tendreté et la taille de fibres musculaires, le collagène soluble et le persillage.

	FC	S tendreté
	Coefficient de corrélation	
Taille moyenne des fibres	0,17*	0,15
Taille fibres I	0,08	0,12
Taille fibres IIa	0,24*	0,23*
Taille fibres IIb	0,14	0,11
Collagène soluble	-0,02	-0,06
persillage	-0,19*	-0,05

FC : force de cisaillement en g/cm^2 , s tendreté : analyse sensorielle de la tendreté, Taille des fibres exprimé en μm^2 , collagène soluble en $\text{mg}/100\text{g}$ de tissus frais. * : $P \leq 0,05$

CHAPITRE 3 : COMPARAISON ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES HISTOLOGIQUES DU *PSOAS MAJOR* ET DU *LONGISSIMUS DORSI*

3.1 Résumé

Cette étude exploratoire avait pour objectif d'évaluer l'impact du poids d'abattage, de la vitesse de croissance et des sexes sur les caractéristiques histologiques du *psoas major* et du *longissimus dorsi*. Pour réaliser l'étude, 118 porcs commerciaux du Québec ont été regroupés selon deux vitesses de croissance (rapide (IPG-7 jours) et lente (IPG + 2 jours)), trois poids d'abattage (107 kg, 115 kg, 125 kg) et deux sexes (castrats et femelles). Les résultats indiquent des différences pour ce qui est du développement du *psoas major* en comparaison au *longissimus dorsi*. L'augmentation du poids d'abattage a engendré une augmentation significative de la surface des deux muscles ($P \leq 0,05$). Cette augmentation s'est traduite par une augmentation significative de la taille moyenne des fibres pour le *longissimus dorsi* ($P \leq 0,05$). Toutefois, l'augmentation de la surface du *psoas major* n'a pu être expliquée par l'augmentation de la taille des fibres et une augmentation significative du nombre de fibres a été calculée bien que ceci soit impossible puisqu'il est fixe dès la naissance. L'amélioration du gain moyen quotidien a influencé différemment les deux muscles. Le *psoas major* des animaux ayant une vitesse de croissance lente a présenté une surface de muscle plus importante que ceux ayant une vitesse de croissance rapide ($P \leq 0,05$). Cette augmentation de la taille du muscle n'a pas été explicable par l'analyse des caractéristiques histologiques du muscle. La vitesse de croissance n'a pas influencé le développement du *longissimus dorsi*. Quant au sexe, la taille des deux muscles a été plus élevée chez les femelles. Les différences observées entre ces deux muscles, en fonction des traitements, suggèrent l'implication de la croissance longitudinale des fibres comme facteur pouvant expliquer les résultats obtenus.

3.2 Introduction

Au Québec, la viande de porc est souvent consommée à l'état frais. L'une des pièces les plus prisées est sans contre dit le filet ou *psoas major*. Étant donné la possibilité d'une augmentation du poids d'abattage, une étude exploratoire portant sur les caractéristiques histologiques du *psoas major* a été effectuée.

Pour l'instant, peu de travaux se sont attardés sur les caractéristiques du *psoas major*. L'article de Lefaucheur et Vigneron (1986) s'est avéré être la seule référence trouvée ayant des résultats

concernant le *psoas major*. Leurs travaux indiquent que le *psoas major* suit des patrons de croissance similaires à ceux du *longissimus dorsi* pour des porcs allant jusqu'à 120 kg. L'augmentation de la taille du muscle s'effectue par une augmentation de la taille moyenne des fibres musculaires, comme l'indiquent Candek-Potokar et coll. (1999) pour le *longissimus dorsi* et Lefaucheur et Vigneron (1986), pour le *longissimus dorsi* et le *psoas major*. Rehfeldt et coll. (2000), Lefaucheur (2001) et Picard et coll. (2002) indiquent que le développement musculaire post natal se produit essentiellement par l'augmentation de la taille et de la longueur des fibres et que le nombre total de fibres est fixe à la naissance. Les coefficients allométriques du *longissimus dorsi* et du *psoas major* sont respectivement de 1,21 et 1,08.

Le travail a pour objectif de déterminer les effets de l'augmentation du poids d'abattage, de différentes vitesses de croissance, ainsi que du sexe sur les caractéristiques histologiques du *psoas major*. Pour ce faire, différents résultats histologiques obtenus pour le *longissimus dorsi* et du *psoas major* seront comparés.

3.3 Matériel et méthodes

Les porcs provenaient du croisement de femelles F1 (Yorkshire X Landrace) et de verrats Duroc. Un total de 28 verrats ayant fournis la semence représentaient deux groupes de 14 verrats, homogènes pour la vitesse de croissance, dont un avec un indice moyen de potentiel génétique (IPG) âge à 100 kg de - 10 jours et l'autre avec un IPG âge à 100 kg de + 2 jours. L'IPG gras dorsal à 100 kg était de valeur semblable pour l'ensemble des verrats des deux groupes. Les inséminations ont été effectuées sur différentes fermes de type commercial. Quatre porcelets, deux mâles et deux femelles, ont été sélectionnés pour participer au projet pour un total de 340 porcs. Les animaux sélectionnés ont été amenés à la station expérimentale de Deschambault à Québec, pour la période de pouponnière et d'engraissement. Durant la période d'engraissement, les porcs ont été divisés en trois groupes de poids d'abattage : 107 kg, 115 kg et 125 kg. À l'intérieur de ces groupes se trouvaient un nombre équivalent de mâles et de femelles, ainsi qu'une distribution homogène des animaux en fonction des vitesses de croissance. L'allotement des porcs a été fait dans 28 parcs d'engraissement munis d'un système d'alimentation automatique de type Insentec. L'alimentation a été formulée afin de ne pas limiter la croissance et le dépôt protéique des porcs. Les animaux ont été pesés régulièrement tout au long de la période de croissance permettant de relativement bien respecter les poids d'abattage attribués aux différents groupes. De ce groupe, 119 porcs distribués de façon à retrouver un nombre équivalent d'animaux dans chacune des classes de poids d'abattage, de vitesse de croissance et pour le sexe, ont été sélectionnés pour les analyses. La mise à mort a été effectuée dans un établissement commercial selon les procédures

établies dans la région. Avant d'être abattus, les porcs ont subi un jeûne moyen de 18 heures et 50 minutes. Un délai de trois heures d'attente a été respecté avant l'abattage.

L'échantillonnage du *longissimus dorsi* a été effectué sur la carcasse chaude. La cadence d'abattage en milieu commercial était trop rapide, ce qui nuisait au respect d'un même délai entre la mort de l'animal et l'échantillonnage pour l'ensemble des animaux. Une carotte de muscle a été prélevée au site de sélection, soit entre les troisième et quatrième vertèbres. À partir de ce prélèvement, des échantillons de forme rectangulaire, d'environ 5 mm par 5 mm de section et de longueur variable, et dont les fibres sont orientées dans le sens de l'axe longitudinal de l'échantillon, ont été prélevés pour l'analyse histochimique. Ces échantillons destinés à l'analyse des fibres musculaires ont été congelés à -20°C dans l'isopentane et conservés à -80°C jusqu'au moment des analyses. L'échantillonnage du *psaos major* a été effectué à 24 heures suivant l'abattage.

À l'aide d'un cryostat, des coupes sériées ont été effectuées pour chacun des échantillons congelés. L'analyse histochimique a été effectuée sur des lames colorées pour l'analyse de la concentration en ATP avec pré-incubation basique (Brooke et Kaiser, 1970). Pour la coloration, les lames préalablement préparées sont immergées dans une solution à 2 % (v/v) de formaldéhyde et à 1 % (m/v) de CaCl_2 durant 5 minutes à la température de la pièce. Elles sont ensuite rincées, deux fois pendant une minute, dans une solution de tris-HCl à 0,1 M et de CaCl_2 à 0,18 M (pH 7,8). La pré-incubation alcaline est effectuée durant 15 minutes à la température de la pièce avec une solution alcaline constituée de 1 % d'une solution de 2-amino 2-méthyl 1-propanol et de 0,4 % de CaCl_2 avec un pH de 10,4 ajusté avec du HCl. Un second rinçage équivalent à celui mentionné précédemment est effectué. Les lames sont incubées durant 45 minutes à 37°C dans une solution composée de 0,0942 % d'une solution de base de 2-amino 2-méthyl 1-propanol, 0,05 % de CaCl_2 , 0,5 mM de KCl et de 0,0152 % (m/v) d'ATP avec un pH de 9,4 ajusté avec du HCl. Suite à l'incubation, les lames sont rincées 3 fois 30 secondes dans une solution de CaCl_2 à 1 %, incubées dans une solution de CoCl_2 à 2 % durant 3 minutes, rincées à l'eau distillée pour enlever l'excédent de CoCl_2 et incubées dans une solution à 1 % d'ammonium de sulfide. Les lames ont finalement été montées pour l'analyse microscopique.

Les caractéristiques histologiques du *psaos major* ont été évaluées à partir des observations faites suite à une coloration à l'azorubin. Les tissus ont été coupés au cryostat et placés sur des lames. Les tissus des lames ont été fixés, durant 5 minutes, dans une solution contenant 15 % (v/v) de HCHO et 2,654 g/L de CaCl_2 puis rincées avec de l'eau distillée. Après une coloration d'une heure dans une solution contenant 5 g/L d'acide molybdique, 5 g/L d'azorubin, 21 % (v/v) d'acide acétique, les lames sont rincées durant 4 minutes dans l'eau distillée. La déshydratation des tissus s'effectue dans une succession de bains à l'acétone : un premier à 80 %, un second à 95 %

d'acétone et un dernier à 100 % d'acétone. Deux rinçages dans du trichloroethane sont ensuite effectués. Les lames sont finalement montées pour l'examen au microscope.

L'analyse d'image a été effectuée à l'aide du logiciel *image express*. Le nombre de fibres a été évalué mathématiquement en divisant la taille du muscle par la taille moyenne des fibres musculaires. La surface ou taille des muscles a été mesurée à l'aide d'un tracé du muscle sur acétate.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED du logiciel SAS, (SAS, 2000). L'analyse de la variance a été effectuée pour le poids d'abattage, la vitesse de croissance et les sexes comme étant les effets principaux. Les moyennes sont considérées statistiquement différentes les unes des autres lorsque $p \leq 0,05$.

3.4 Résultat et discussion

3.4.1 Effet du poids d'abattage

L'augmentation du poids d'abattage a engendré une augmentation des valeurs mesurées de la surface du *longissimus dorsi* et celle du *psaos major* (Tableau 3.1). Dans les deux cas, la surface du muscle a augmenté avec l'augmentation du poids d'abattage (Figure 3.1). Ces résultats sont consistants avec ceux de Lefaucheur et Vigneron (1986) pour des poids d'abattage allant jusqu'à 120 kg. Dans cette étude, ils ont montré que le taux de croissance du *longissimus dorsi* et celui du *psaos major* sont constants avec l'augmentation du poids d'abattage.

Les caractéristiques histologiques du *longissimus dorsi* et du *psaos major* (Tableau 3.1) ne se comportent pas de la même façon. Les résultats du *longissimus dorsi* ne présentent aucune augmentation du nombre de fibres musculaires, mais une augmentation de la taille de ces fibres avec l'augmentation du poids d'abattage (Figures 3.2 et 3.3). Ceci est en accord avec ce que mentionnent Rehfeldt et coll. (2000), Lefaucheur (2001) et Picard et coll. (2002) pour ce qui est du principe de développement musculaire, et consistant avec les résultats de Lefaucheur et Vigneron (1986) et ceux de Candek-Potokar et coll. (1999) qui ont montré que la taille des fibres augmente avec le poids d'abattage. Les résultats histologiques du *psaos major* n'ont montré aucune variation statistiquement significative de la taille moyenne des fibres, mais une augmentation du nombre de fibres musculaires en fonction de l'augmentation du poids d'abattage (Figures 3.2 et 3.3). L'absence de variation de la taille des fibres du *psaos major* est contraire à ce qui a été présenté par Lefaucheur et Vigneron (1986) pour des poids d'abattage allant jusqu'à 120 kg. Quant à la

variation du nombre de fibres, il pourrait s'expliquer par un artéfact mathématique puisque le nombre de fibre musculaire est fixe dès la naissance.

Le nombre de fibres musculaires correspond à la surface du muscle divisé par la taille moyenne des fibres musculaires. Puisque la surface du *psaos major* augmente sans variation de la taille des fibres de ce muscle, une augmentation du nombre de fibres est obtenue mathématiquement. Cependant, comme l'ont mentionné Rehfeldt et coll. (2000), Lefaucheur (2001) et Picard et coll. (2002), l'augmentation post natale de la surface d'un muscle se produit essentiellement par l'augmentation de la taille et de la longueur des fibres. Ainsi, l'augmentation de la surface du *psaos major* pourrait être liée à une augmentation de la longueur des fibres si les fibres de ce muscle sont orientées en angle par rapport à l'axe vertébral. Aucune étude n'a été répertoriée quant à la disposition des fibres du *psaos major*, mais Lefaucheur et Gerrard (1998) ont mentionné que les fibres du *longissimus dorsi* ne sont pas positionnées parallèlement, mais en angle de 25° par rapport à l'axe vertébral. Ceci confère un certain rôle à la croissance longitudinale des fibres dans le développement du muscle. De plus, Wheeler et Koohmaraie (1999) ont montré, chez l'agneau, que la longueur des sarcomères est plus grande pour le *psaos major* que pour le *longissimus dorsi*. Si ceci est le cas chez le porc, la longueur des fibres pourrait avoir un impact plus important dans le déterminisme de la taille du *psaos major* que celle du *longissimus dorsi* dans le déterminisme de la taille du muscle.

3.4.2 Effet de la vitesse de croissance

Les effets des vitesses de croissance rapide et lente ne sont pas semblables pour les deux muscles (Tableau 3.1). La surface du *longissimus dorsi* n'a pas été influencée par les deux vitesses de croissance. Par contre, les animaux ayant une vitesse de croissance lente ont présenté une surface du *psaos major* un peu plus grande que celle obtenue pour les animaux ayant une vitesse de croissance rapide. Cette différence peut être attribuée au fait que le *psaos major* est un muscle à maturation lente en comparaison avec le *longissimus dorsi* (Lefaucheur et Vigneron., 1986). Selon cette affirmation le *psaos major* des animaux à vitesse de croissance lente a bénéficié d'une durée de croissance plus longue que ceux ayant une vitesse de croissance rapide, ce qui a favorisé un développement plus important du muscle. L'analyse du profil histologique du *longissimus dorsi* et du *psaos major* n'a montré aucun effet significatif de la vitesse de croissance sur la taille moyenne des fibres, ainsi que leur nombre. Tel que mentionné pour l'effet du poids d'abattage, l'augmentation de la surface du *psaos major* chez les animaux à croissance lente pourrait être liée à une augmentation de la longueur des fibres si, chez le porc, ces fibres sont orientée en angle et qu'elles sont plus longues que celles du *longissimus dorsi*.

3.4.3 Effet du sexe

La taille du *longissimus dorsi* et du *psaos major* est plus importante pour les femelles en comparaison aux castrats (Tableau 3.1). Le volume musculaire plus élevé du *longissimus dorsi* et du *psaos major* des femelles peut s'expliquer par le fait que les femelles ont obtenu des résultats de gain moyen quotidien inférieurs à ce qui a été obtenu pour les castrats. De plus, elles ont obtenu une meilleure conversion alimentaire que les castrats. Cela s'est traduit par une croissance plus lente et un meilleur dépôt protéique pour les femelles. L'augmentation de la surface des muscles ne s'explique pas par une augmentation du nombre de fibres, ni par la taille de ces dernières. Tel que mentionné précédemment, l'augmentation de la longueur des fibres pourrait être impliquée.

3.5 Conclusion

La présente étude n'a pas permis d'émettre de conclusion claire sur les caractéristiques musculaires du *psaos major* et du *longissimus dorsi*. Les différents traitements à l'étude, soit le poids d'abattage, la vitesse de croissance et les sexes, ont eu des effets sur la surface des muscles, mais sans que la taille ni le nombre de fibres ne puissent expliquer l'effet obtenu pour les traitements concernant la vitesse de croissance et les sexes. Seul l'effet de l'augmentation du poids d'abattage a engendré des variations des caractéristiques histologiques. Pour le *longissimus dorsi*, l'augmentation de la surface du muscle s'est expliquée par une augmentation de la taille des fibres musculaires. Par contre, pour le *psaos major*, aucun effet n'a été trouvé pour la taille des fibres, mais un effet a été noté pour le nombre total de fibres. Cet effet semble provenir d'un artéfact mathématique. Il serait pertinent de refaire les analyses histologiques en incluant la troisième composante de la croissance musculaire, soit la croissance longitudinale des fibres et d'évaluer leur alignement par rapport à l'axe vertébral.

3.6 Liste des ouvrages cités

Brooke, M. H., Kaiser, K.K. 1970. Muscle fiber types : How many and what kind ? *Arch Neurology*, 23 : 369-379.

Candek-Potokar, M., Lefaucheur, L., Zlender, B. & Bonneau, M. 1999. Effect of slaughter weight and/or age on histological characteristics of pig *longissimus dorsi* muscle as related to meat quality. *Meat Science*, 52: 95-203.

Lefaucheur, L. & Vigneron, P. 1986. Post-natal changes in some histochemical and enzymatic characteristics of three pig muscles. *Meat Science*, 16: 199-216.

Lefaucheur, L. & Gerrard, D. 1998. Muscle fiber plasticity in farm mammals. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 1-19.

Lefaucheur, L. 2001. Myofiber typing and pig meat production. *Slovenian Veterinary Research*, 38: 5-33.

Picard, B., Lefaucheur, L., Berri, C. et Duclos, M.J. 2002. Muscle fibre ontogenesis in farm animal species. *Reproduction Nutrition development*, 42: 415-431.

Rehfeldt, C., Fiedler, I., Dietl, G. & Ender, K. 2000. Myogenesis and postnatal skeletal muscle cell growth as influenced by selection. *Livestock Production Science*, 66: 177 –188.

SAS. 2000. SAS/Stat user's guide: Statistics (release 6.04) SAS Inst. Inc., Cary, NC.

Wheeler, T.L. & Koohmaraie, M. 1999. The extent of proteolysis is independent of sarcomere length in lamb *longissimus* and *psaos major*. *Journal of Animal Science*, 77: 2444–2451.

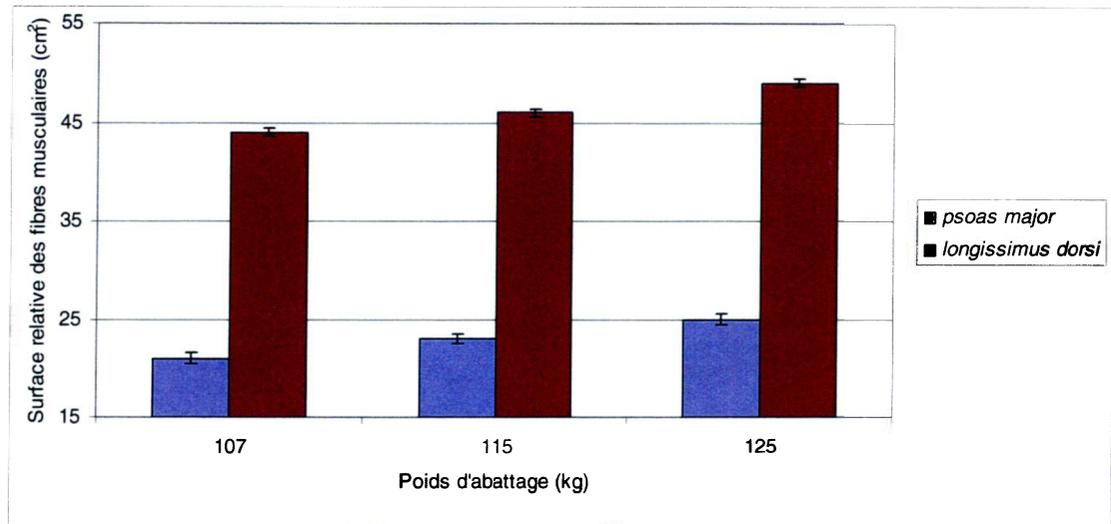


Figure 3.1. Surface relative des fibres musculaires du *longissimus dorsi* et du *psoas major* en fonction des poids d'abattages. Les barres représentent l'erreur-type des LSmeans ($P \leq 0,05$).

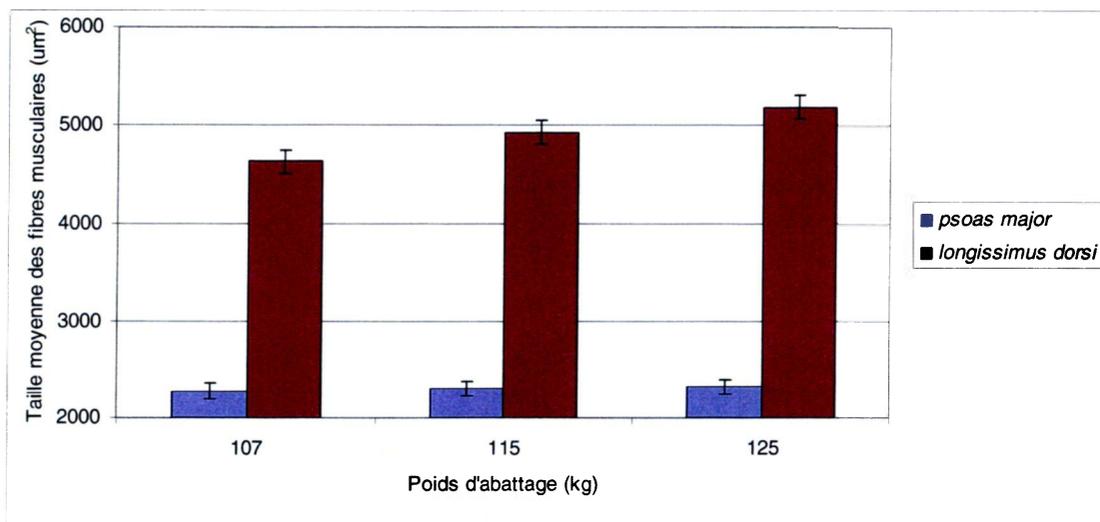


Figure 3.2. Taille moyenne des fibres musculaires du *longissimus dorsi* et du *psoas major* en fonction des poids d'abattages. Les barres représentent l'erreur-type des LSmeans ($P \leq 0,05$).

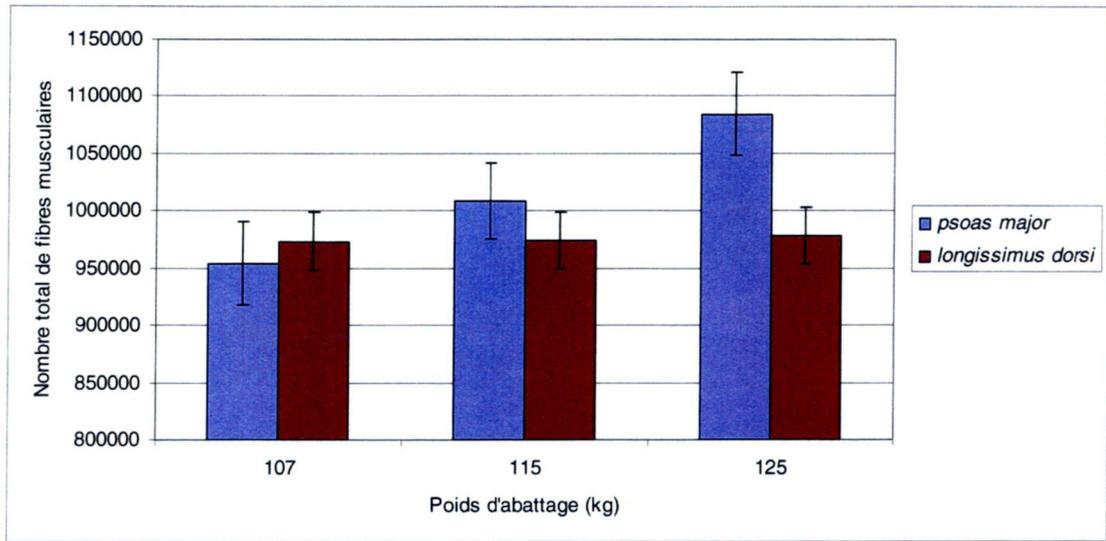


Figure 3.3. Nombre total de fibres musculaires du *longissimus dorsi* et du *psoas major* en fonction des poids d'abattages. Les barres représentent l'erreur-type des LSmeans ($P \leq 0,05$).

Tableau 3.1. Caractéristiques histologiques et volume du *longissimus dorsi* et du *psoas major* en fonction des poids d'abattages, des différentes vitesses de croissance et du sexe.

Muscle	Poids d'abattage			Vitesse de croissance		Sexe	
	107 kg	115 kg	125 kg	Rapide	Lent	Castrat	Femelle
Nombre total de fibres musculaires							
<i>psoas</i>	954078 ^b	1008043 ^{ab}	1084781 ^a	980459	1050809	1004132	1027136
<i>major</i>	(36564)	(32902)	(35791)	(29802)	(29113)	(28232)	(29113)
<i>longissimus</i>	973534	974318	978640	987532	963463	950092	1000903
<i>dorsi</i>	(25272)	(25089)	(25164)	(21254)	(19833)	(20256)	(2081)
Taille moyenne de fibres musculaires μm^2							
<i>psoas</i>	2280	2310	2320	2350	2360	2280	2340
<i>major</i>	(89)	(80)	(87)	(72)	(67)	(68)	(71)
<i>longissimus</i>	4630 ^b	4926 ^{ab}	5182 ^a	4843	4982	4866	4959
<i>dorsi</i>	(120)	(120)	(120)	(101)	(95)	(97)	(99)
Surface du muscle cm^2							
<i>psoas</i>	21 ^b	23 ^a	25 ^a	22 ^b	23 ^a	22 ^b	23 ^a
<i>major</i>	(0.5)	(0.5)	(0.5)	(0.4)	(0.4)	(0.4)	(0.4)
<i>longissimus</i>	44 ^a	46 ^b	49 ^c	46	47	46 ^a	48 ^b
<i>dorsi</i>	(0.4)	(0,4)	(0,4)	(0,8)	(0,8)	(0,3)	(0,3)

Pour un traitement et un type de fibres donné, les valeurs identifiées par une lettre différente diffèrent significativement ($P \leq 0,05$) ; L'erreur type des LSmeans est entre parenthèse.

CONCLUSION GENERALE

Le but de ce travail était de vérifier l'impact de différents poids d'abattage (107 kg, 115 kg et 125 kg), de deux vitesses de croissance, des sexes (femelle et castrat) et de leurs interactions sur les caractéristiques du métabolisme musculaires du *longissimus dorsi* de porcs commerciaux en relation avec la qualité de la viande. Quelques variations des composantes métaboliques ont été observées sans qu'il n'y ait de modification importante de la qualité technologique et organoleptique de la viande.

En accord avec la première hypothèse, les poids d'abattage ont engendré des variations du métabolisme musculaire du *longissimus dorsi* des porcs à l'étude, mais sans se répercuter sur la qualité de la viande. La taille moyenne des fibres musculaires et plus spécifiquement celles de type I et IIb a augmenté avec l'augmentation du poids d'abattage. Malgré une corrélation positive entre la taille des fibres musculaires et les forces de cisaillement, la tendreté n'a pas été influencée par l'augmentation du poids d'abattage. L'activité de la lactate déshydrogénase (LDH) et celle de la citrate synthase (CS) ont été plus élevées pour les porcs abattus à 125 kg. L'activité plus importante de la LDH pour les animaux de 125 kg n'a pas occasionné de variation du pH_u et du pH 48 heures de ces animaux. En dépit de ces variations métaboliques, les critères de la qualité de la viande n'ont pas été influencés par le poids d'abattage. Toutefois, les résultats des analyses ont montré des variations métaboliques susceptibles d'avoir des répercussions sur les aspects de la qualité de la viande. Il serait important de faire un suivi minutieux de la qualité de la viande pour des porcs abattus au-delà de 115 kg. Advenant une situation où les poids d'abattage dépasseraient 125 kg, il serait primordial de faire des études supplémentaires afin de bien visualiser le comportement métabolique du muscle et ses répercussions sur la qualité de la viande.

En accord avec la deuxième hypothèse, la sélection visant l'amélioration du gain moyen quotidien a engendré des modifications du métabolisme musculaire, mais sans affecter la qualité de la viande. La taille des fibres de type I a diminué et le pourcentage de fibres de type I a augmenté chez les animaux ayant une vitesse de croissance rapide en comparaison à ceux ayant une vitesse de croissance lente. Le pourcentage des fibres de type IIb a diminué pour les animaux ayant une vitesse de croissance rapide. Les différentes activités enzymatiques soient la CS, la LDH et les enzymes du système calpaïnes/calpastatine, n'ont pas été influencées par les différentes VC. Les critères de qualité n'ont pas été influencés significativement par les différentes vitesses de croissance pour cette étude.

En accord avec la troisième hypothèse, les sexes ont montré des caractéristiques musculaires différentes, les femelles ayant présenté une qualité de la viande légèrement inférieure à celle des castrats. Les femelles ont présenté une surface relative plus faible pour les fibres de type I et plus

élevée pour les fibres de type IIb en comparaison aux castrats. Elles ont également été caractérisées par une valeur de potentiel glycolytique supérieure à celle des castrats. Les valeurs de pH_u ont été plus faibles et les pertes en eau plus importantes pour les femelles en comparaison aux castrats. Bien que le pH_u ait été inférieur pour les femelles, le pH 48 heures n'a pas été influencé par les sexes. Malgré le fait que les variations métaboliques observées n'aient pas engendré de variations majeures des critères de la qualité de la viande, il serait intéressant de mieux connaître les amplitudes pour lesquelles les variations métaboliques seraient associées à des modifications des critères de qualité de la viande. Il serait également intéressant de mieux étudier les effets de l'augmentation de la vitesse de croissance sur les caractéristiques métaboliques et de la qualité de la viande en considérant l'effet de la sélection sur des générations et non sur deux populations ayant des vitesses de croissance différentes. Il serait important d'étudier plus spécifiquement les concepts de maturation musculaire lors du développement du muscle. Une meilleure compréhension de cet aspect permettrait de mieux comprendre les différences entre les composantes musculaires des femelles et des castrats.

Le dernier volet de l'étude visait à comparer les paramètres histologiques du *longissimus dorsi* et du *psaos major*. L'hypothèse de ce volet exploratoire mentionnait que les caractéristiques histologiques des deux muscles réagiraient aux trois traitements et que ces variations seraient du même type. Les caractéristiques histologiques des deux muscles ont été influencées par les traitements sauf que ces variations n'ont pas été semblables entre les muscles. L'augmentation du poids d'abattage a engendré une augmentation de la surface des muscles étudiés. Seule l'augmentation de la taille du *longissimus dorsi* a pu être expliquée par une augmentation de la taille des fibres qui composent le muscle. Pour le *psaos major*, l'augmentation de la taille du muscle a été liée à une augmentation du nombre total de fibres qui composent le muscle. Cette observation a dû être engendrée par un artéfact mathématique. Les vitesses de croissance n'ont pas influencées les caractéristiques musculaires du *longissimus dorsi*. La vitesse de croissance lente a engendré une surface de muscle plus importante chez le *psaos major*, malgré l'absence d'effet pour ce qui est de l'histologie. Les femelles ont présenté des muscles plus volumineux pour le *longissimus dorsi* et le *psaos major* sans être lié à des variations histologiques.

Les analyses comparatives entre les caractères histologiques du *longissimus dorsi* et du *psaos major* ont apporté certaines interrogations, principalement au sujet de l'angle d'attache des fibres musculaires dans le *psaos major*. Une étude permettrait de mettre en lumière l'importance de la longueur des sarcomères dans le déterminisme du nombre total de fibres. Il serait également d'intérêt de valider la pertinence de déterminer mathématiquement le nombre total de fibres musculaires sans considérer la longueur du sarcomère.

LISTE DES OUVRAGES CITES

Barton-Gades, P.A. 1987. Meat and fat quality in boars, castrates and gilts. *Livestock Production Science*, 16: 187-196.

Bendall, J.R. & Swatland, H.J. 1988. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Science*, 24: 85-126.

Bertram, H.C., Schafer, A., Rosenvold, K. & Andersen, H.J. 2004. Physical changes of significance for early *post-mortem* water distribution in porcine M. *longissimus*. *Meat Science*, 66: 915 –924.

Boehm, M.L., Kendall, T.L., Thompson, V.F. & Goll, D.E. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during *post-mortem* storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science*, 76: 2415-2434.

Brocks, L., Hulsegge, B. & Merkus, G. 1998. Histochemical characteristics in relation to meat quality properties in the *longissimus lumborum* of fast and lean growing lines of Large White pigs. *Meat science*, 50: 411-420.

Brocks, L., Klont, R.E., Buist, W., de Greef, K., Tieman, M. and Engel, B. 2000. The effects of selection of pigs on growth rate vs leanness on histochemical characteristics of different muscles. *Journal of Animal Science*, 78: 1247–1254.

Candek-Potokar, M., Zlender, B., Lefaucheur, L. & Bonneau, M. 1998. Effects of age and/or weight at slaughter on *longissimus dorsi* muscle: biochemical traits and sensory quality in pigs. *Meat Science*, 48: 287-300.

Candek-Potokar, M., Lefaucheur, L., Zlender, B. & Bonneau, M. 1999. Effect of slaughter weight and/or age on histological characteristics of pig *longissimus dorsi* muscle as related to meat quality. *Meat Science*, 52: 95-203.

Candek-Potokar, M., Monin, G. & Zlender, B. 2002. Pork quality, processing, and sensory characteristics of dry-cured hams as influenced by Duroc crossing and lines. *Journal of Animal Science*, 80: 988-996.

Carpenter, Z.L, Kauffman, R.G., Bray, R.W., Briskey, E.J. & Weckel, K.G. 1963. Factors influencing quality in pork. A. Histological observations. *Journal of Food Science*, 28: 467.

- Cassens, R.G. & Cooper, C.C. 1971. Red and white muscle. *Advances in Food Research*, 19:1-74.
- Chang, K.C., da Costaa, N., Blackley, R., Southwood, O., Evans, G., Plastow, G., Wood, J.D. & Richardson, R.I. 2003. Relationships of myosin heavy chain fibre types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat Science*, 64: 93 –103.
- Cisneros, F., Ellis, M., McKeith, F.K., McCaw, J. & Fernando, R.L. 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science*, 74: 925 –933.
- Claeys, E., De Smet, S., Demeyer, D., Geers, R. & Buys, N. 2001. Effect of rate of pH decline on muscle enzyme activities in two pig lines. *Meat Science*, 57: 257-263.
- Culler, R.D., Parrish, F.C., Smith, G.C. & Cross, H.R. 1978. Relationship of myofibril fragmentation index to certain chemical, physical and sensory characteristics of bovine *longissimus* muscle. *Journal of Food Science*, 43: 1177-1180.
- Crouse, J.D., Koohmaraie, M. & Seideman S.D. 1991. The relationship of muscle fibre size to tenderness of beef. *Meat Science* 30: 295-302.
- Davey, C.L., & Gilbert, K.V. 1969. Studies in meat tenderness. 7. Changes in the fine structure of the meat during aging. *Journal of Food Science*, 34: 69-74.
- Delgado, E.F., Geesink, G.H., Marchello, J.A., Goll, D.E., & Koohmaraie, M. 2001. Properties of myofibril-bound calpain activity in *longissimus* muscle of callipyge and normal sheep. *Journal of Animal Science*, 79: 2097–2107.
- De Vol, D.L., McKeith, F.K., Bechtel, P.J., Novakofski, J., Shanks, R.D. & Carr, T.R. 1988. Variation in the composition and palatability traits, and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork samples. *Journal of Animal Science*, 66 : 385-95.
- Dransfield, E. 1993. Modelling *post-mortem* tenderisation III: Role of calpain I in conditioning. *Meat Science*, 31: 85-94.
- Dransfield, E., Etherington, D.J. & Taylor M.A.J. 1992. Modelling *post-mortem* tenderisation II: enzyme changes during storage of electrically stimulated and non-stimulated beef. *Meat Science*, 31: 75-84.

Dwyer, C.M., Fletcher, J.M. & Stickland, N.C. 1993. Muscle cellularity and postnatal growth in the pig. *Journal of Animal Science*, 71: 3339-3343.

Eggert, J.M., Depreux, F.F.S., Schinckel, A.P., Grant, A.L. & Gerrard, D.E. 2002. Myosin heavy chain isoforms account for variation in pork quality. *Meat Science*, 61: 117 –126.

Elce, J.S., Hegadorn, C. & Arthur, J.S.C., 1997. Autolysis, Ca²⁺ requirement, and heterodimer stability in m-Calpain. *The Journal of Biological Chemistry*, 272: 11268 –11275.

Essen-Gustavsson, B., Karlstrom, K. & Lundstrom, K. 1992. Muscle fibre characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality. *Meat Science*, 31:1-11.

Ertbjerg, P., Henckel, P., Karlsson, A., Larsen, L.M. & Møller, A.J. 1999. Combined effect of epinephrine and exercise on calpain/calpastatin and cathepsin B and L activity in porcine *longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*, 77: 2428–2436.

Geoffrey, C. 2004. Développement d'un protocole d'induction de tolérance immunologique applicable à la transplantation de myoblastes comme traitement de la dystrophie musculaire de Duchenne. Dans Université Laval. Bibliothèque. *Archimède*, [En ligne]. <http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/files/b3371f46-270f-4f1a-8c6c-3598a1b39b45/21784.html> (Page consultée le 20 avril 2008)

Goll, D.E., Thompson, V.F. & Christiansen, J.A. 1992. Role of the calpain system in muscle growth. *Biochimie*, 74: 225-237.

Goll, D.E., Thompson, V.F., Taylor, R.G. & Ouali, A. 1998. The calpain system and skeletal muscle growth. *Canadian Journal of Animal Science*, 78: 503-512.

Goll, D.E., Thompson, V.F., Li, H., Wei, W., & Cong, J. 2003. The calpain system. *Physiological Reviews*, 83: 731 –801.

Gondret, F. & Bonneau, M. 1998. Mise en place des caractéristiques du muscle chez le lapin et incidence sur la qualité de la viande. *INRA Productions Animales*. 11(5): 335-347.

Hamilton, D.N., Miller, K.D., Ellis, M., McKeith, F.K., & Wilson, E.R. 2003. Relationships between *longissimus* glycolytic potential and swine growth performance, carcass traits, and pork quality. *Journal of Animal Science*, 81: 2206–2212.

Henckel, P., Oksbjerg, N., Erlandsen, E., Barton-Gade, P. & Bejerholm, C. 1997. Histo- and biochemical characteristics of the *longissimus dorsi* muscle in pigs and their relationships to performance and meat quality. *Meat Science*, 47: 311-321.

Hocquette, J.F., Ortigues-Marty, I., Damon, M., Herpin, P. & Geay, Y. 2000. Métabolisme énergétique des muscles squelettiques chez les animaux producteurs de viande. *INRA Production Animal*, 13: 185-200.

Hocquette, J.F., Ortigues-Marty, I., Pethick, D., Herpin, P. & Fernandez, X. 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. *Livestock Production Science*, 56: 115 –143.

Hopkins, D.L. & Taylor, R.G. 2004. *Post-mortem* muscle proteolysis and meat tenderness. Dans: Muscle development of livestock animals. Te Pas, M.F.W., Everts, M.E. & Haagsman, H.P. (éd.) Cabi Publishing, Oxfordshire, UK.

Hopkins, D.L. & Thompson, J.M. 2002. The relationship between *post-mortem* calcium concentration or pH and indicators of proteolysis in ovine muscle. *Meat Science*. 61: 411-414.

Huff-Lonergan, E., Baas, T.J., Malek, M., Dekkers, J.C.M., Prusa, K. & Rothschild, M.F. 2002. Correlations among selected pork quality traits. *Journal of Animal Science*, 80: 617 –627.

Hwang, I.H. & Thompson, J.M. 2001. The influence between pH and temperature decline early post-mortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef *longissimus dorsi* muscle. *Meat Science*, 58: 167-174.

Ilian, M.A., Berhit, A.E. & Bickerstaffe, R. 2004. The relationship between meat tenderization, myofibril fragmentation and autolysis of calpain 3 during post-mortem aging. *Meat Science*, 66: 387-397.

Joo, S.T., Kauffman, R.G., Kim, B.C. & Par, G.B. 1999. The relationship of sarcoplasmic and myofibrillar protein solubility to colour and water-holding capacity in porcine *longissimus* muscle. *Meat Science*, 52: 291-297.

Karlsson, A., Enfalt, A.-C., Essn-Gustavsson, B., Lundstrom, K., Rydhmer, L., & Stern, S. 1993. Muscle histochemical and biochemical properties in relation to meat quality during selection for increased lean tissue growth rate in pigs. *Journal of Animal Science*, 71: 930-938.

- Karlsson, A.H., Klont, R.E. & Fernandez, X. 1999. Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Production Science*, 60: 255 –269.
- Klont, R.E., Brocks, L. & Eikelenboom, G. 1998. Muscle fibre type and meat quality. *Meat Science*, 49:S219-229.
- Koohmaraie, M. 1992. The role of Ca²⁺-dependent protease (calpains) in *post-mortem* proteolysis and meat tenderness. *Biochimie*, 74: 239-245.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat aging. *Meat Science*, 36: 93-104.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Science*, 43:S193-S201.
- Koohmaraie, M., Seideman, S.C., Schollmeyer, J.E., Dutson, T.R. & Crouse, J.D. 1987. Effects of post-mortem storage on Ca⁺⁺-dependent proteases, their inhibitor and myofibril fragmentation. *Meat Science*. 19: 187-196.
- Koohmaraie, M., Kent, M.P., Shackelford, S.D., Veiseth, E. & Wheeler, T.L. 2002. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Science*, 62: 345-352.
- Kristensen, L., Therkildsen, M., Riis, B., Sørensen, M.T., Oksbjerg, N., Purslow, P.P. & Ertbjerg, P. 2002. Dietary-induced changes of muscle growth rate in pigs: Effects on in vivo and *postmortem* muscle proteolysis and meat quality. *Journal of Animal Science*, 80: 2862–2871.
- Lametsch, R., Roepstorff, P., Moller, H.S. & Bendixen, E. 2004. Identification of myofibrillar substrates for μ -calpain. *Meat science*, 68: 515-521.
- Larzul, C., Lefaucheur, L., Ecolan, P., Gogue, J., Talmant, A., Sellier, P., Le Roy, P. & Monin, G. 1997. Phenotypic and genetic parameters for longissimus muscle fiber characteristics in relation to growth, carcass, and meat quality traits in Large White pigs. *Journal of Animal Science*, 75: 3126–3137.
- Larzul, C., Le Roy, P., Monin, G. & Sellier, P. 1998. Variabilité génétique du potentiel glycolytique du muscle chez le porc. *INRA Productions Animales*, 1: 183-197.

Latorre, M.A., Lazaro, R., Valencia, D.G., Medel, P. & Mateos, G.G. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science*, 82: 526–533.

Lebret, B., Le Roy, P., Monin, G., Lefaucheur, L., Caritez, J.C., Talmant, A., Elsen, J.M. & Sellier, P. 1999. Influence of the three RN genotypes on chemical composition, enzyme activities, and myofiber characteristics of porcine skeletal muscle. *Journal of Animal Science*, 77: 1482–1489.

Lefaucheur, L. 1989. Les différents types de fibres musculaires chez le porc. *INRA Productions Animales*, 2(3): 205-213.

Lefaucheur, L. 2001. Myofiber typing and pig meat production. *Slovenian Veterinary Research*, 38: 5-33.

Lefaucheur, L. 2003. Typologie et ontogénèse des fibres musculaires chez le porc. *INRA Productions Animales*, 16(2): 133-136.

Lefaucheur, L. & Gerrard, D. 1998. Muscle fiber plasticity in farm mammals. *Proceedings of the American Society of Animal Science*, 1-19.

Lefaucheur, L., Hoffman, R.K., Gerrard, D.E., Okamura, C.S., Rubinsten, N. & Kelly, A. 1998. Evidence for three adult fast myosin heavy chain isoform in type II skeletal muscle fibers in pigs. *Journal of Animal Science*, 76: 1584-1593.

Lefaucheur, L., Le Dividich, J., Mourot, J., Monin, G., Ecolan, P. & Krauss, D. 1991. Influence of environmental temperature on growth, muscle and adipose tissue metabolism, and meat quality in swine. *Journal of Animal Science*, 69: 2844-2854.

Lefaucheur, L., Ecolan, P., Plantard, L. & Gueguen, N. 2002. New insights into muscle fiber types in the pig. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 50(5): 719-730.

Lefaucheur, L. & Vigneron, P. 1986. Post-natal changes in some histochemical and enzymatic characteristics of three pig muscles. *Meat Science*, 16: 199-216.

Le Roy, P., Juin, H., Caritez, J.C., Billon, Y., Lagant, H., Elsen, J.M. & Sellier, P. 1996. Effet du génotype RN sur les qualités sensorielles de la viande de porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 28: 53-56.

- Lindahl, G., Lundström, K. & Tornberg E. 2001. Contribution of pigment content, myoglobine forms and interna; reflectance to the colour of pork loin and ham from pure breed pigs. *Meat science*, 59: 141-151.
- Lonergan, S.M., Huff-Lonergan, E., Rowe, L.J., Kuhlers, D.L. & Jungst, S.B. 2001. Selection for lean growth efficiency in Duroc pigs influences pork quality. *Journal of Animal Science*, 79: 2075-2085.
- Maltin, C.A., Warkup, C.C., Matthews, K.R., Grant, C.M., Porter, A.D. & Delday, M.I. 1997. Pig muscle fibre characteristics as a source of variation in eating quality. *Meat Science*, 41: 231-248.
- Melody, J.L., Lonergan, S.M., Rowe, L.J., Huiatt, T.W., Mayes M.S. and Huff-Lonergan, E. 2004. Early *postmortem* biochemical factors influence tenderness and water-holding capacity of three porcine muscles. *Journal of Animal Science*, 82: 1195–1205.
- Monin, G. & Sellier, M. 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate *post-mortem* period: the case of the Hampshire breed. *Meat Science*, 13: 49-63.
- Monin, G., Mejenes-Quijano, A. & Talmant, A. 1987. Influence of breed and muscle metabolic type on muscle glycolytic potential and meat pH in pigs. *Meat Science*, 20: 149-158.
- Northcutt, J.K., Pringle, T.D., Dickens, J.A., Buhr, R.J. & Young, L.L. 1998. Effects of age and tissue type on the calpain proteolytic system in turkey skeletal muscle. *Poultry Science*, 77: 367 –372.
- Offer, G. 1991. Modelling of the formation of pale, soft and exudative meat: effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science*, 30: 157-184.
- O'Halloran, G.R., Troy, D.J., Buckley, D.J. & Reville, W.J. 1997. The role of endogenous proteases in the tenderisation of fast glycolysing muscle. *Meat Science*, 47: 187-210.
- Oksbjerg, N., Petersen, J.S., Sorensen, L., Henckel, P., Vestergaard, M., Ertbjerg, P., Moller, A.J., Bejrholm, C. & Stoier, S. 2000. Long-terme changes in performance and meat quality of Danish Landrace pigs : a study on a currenbt compared with an unimproved genotype. *Animal Science*, 71: 81-92.
- Olson, D.G., Parrish, F.C. & Stromer, M.H. 1976. Myofibril fragmentation and shear resistance of three bovine muscles during post-mortem storage. *Journal of Food Science*, 41: 1036-1041.

Ouali, A. 1992. Proteolytic and physicochemical mechanisms involved in meat texture development. *Biochimie*, 74: 251-265.

Parr, T., Sensky, P.L., Scothern, G.P., Bardsley, R.G., Buttery, P.J., Wood, J.D. & Warkup, C. 1999. Relationship between skeletal muscle-specific calpain and tenderness of conditioned porcine *longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*, 77: 661 –668.

Picard, B., Jurie, C., Cassar-Malek, I. & Hocquette, J.-F. 2003. Typologie et ontogénèse des fibres musculaires chez différentes espèces d'intérêt agronomique. *INRA Productions Animales*, 16: 117-123.

Purchas, R.W., Burnham, D.L. & Morris, S.T. 2002. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef *longissimus* muscle from bulls and steers. *Journal of Animal Science*, 80: 3211–3221.

Rahelic, S. & Puac, S. 1981. Fibre types in *longissimus dorsi* from wild and highly selected pig breeds. *Meat science*, 5: 439-450.

Rehfeldt, C., Fiedler, I. & Stickland, N.C. 2004. Number and size of muscle fibres in relation to meat production. Dans: Muscle development of livestock animals. Te Pas, M.F.W., Everts, M.E. & Haagsman, H.P. (éd.) Cabi Publishing, Oxfordshire, UK.

Ruusunen, M. & Puolanne, E. 2004. Histochemical properties of fibre types in muscles of wild and domestic pigs and the effect of growth rate on muscle fibre properties. *Meat Science*, 67: 533 –539.

Sazili, A.Q., Lee, G.K., Parr, T., Sensky, P.L., Bardsley, R.G. & Buttery, P.J. 2003. The effect of altered growth rates on the calpain proteolytic system and meat tenderness in cattle. *Meat Science*, 66: 195 –201.

Sellier, P. 1988. Aspects génétiques des qualités technologiques et organoleptiques de la viande chez le porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 20: 227-242.

Sultton, D.S., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F.K. & Wilsod, E.R. 1997. Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water-holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46: 173-180.

Swatland, H.J. 1992. Paleness, softness and exudation in pork – Review. Dans: Pork quality: Genetic and metabolic factors. Puolanne, E., Demeyer, D.I., Ruusunen M. et Ellis, S. (éd.) Cabi Publishing, Oxfordshire, UK.

Taylor, R.G., Geesink, G.H., Thompson, V.F., Koohmaraie, M. & Goll, D.E. 1995. Is Z-disk degradation responsible for *postmortem* tenderization? *Journal of Animal Science*, 73: 1351-1367.

Therkilderness, M., Melchior Larsen, L., Bang, H.G. & Vestergaard, M. 2002. Effect of growth rate on tenderness development and final tenderness of meat from Friesian calves. *Animal Science*, 74 : 253-264.

van Laack, R.L.J.M. & Kauffman, R.G. 1999. Glycolytic potential of red, soft, exudative pork *longissimus* muscle. *Journal of Animal Science*, 77: 2971–2973.

Veiseth, E., Shackelford, S.D., Wheeler, T.L. & Koohmaraie, M. 2004. Factors regulating lamb *longissimus* tenderness are affected by age at slaughter. *Meat Science*, 68: 635 –640.

Warner, R.D., Kauffman, R.G. & Greaser, M.L. 1997. Muscle protein changes *post-mortem* in relation to quality traits. *Meat Science*, 45: 339-352.

Warris, P.D. & Brown, S.N. 1987. The relationships between initial pH, reflectance and exudation in pig muscle. *Meat Science*, 20: 67-74.

Warris, P.D., Brown, S.N. & Adams, S.J.M. 1990. Variation in haem pigment concentration and colour in meat from British pigs. *Meat Science*, 28: 321-329.

Watanabe, A., Dalyb, C.C. & Devineb, C.E. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Science*, 42: 67-78.